

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-223413

(43)Date of publication of application : 11.08.2000

(51)Int.Cl.

H01L 21/027
G03F 7/20

(21)Application number : 11-198874

(71)Applicant : NOVA MEASURING INSTR LTD

(22)Date of filing : 13.07.1999

(72)Inventor : COHEN YOEL
MOSHE FINAROV

(30)Priority

Priority number : 98 125338
98 206282

Priority date : 14.07.1998
07.12.1998

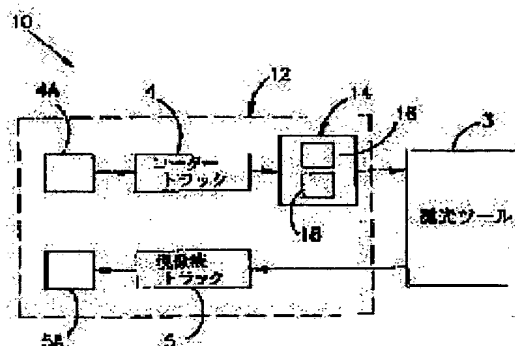
Priority country : IL
US

(54) METHOD AND SYSTEM FOR CONTROLLING PHOTOLITHOGRAPHY PROCESS

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To control the parameter of photolithography in production, by analyzing the measurement value of the parameter of the half-finished product before processing together with the advance set value of work parameter and the result of processing.

SOLUTION: Concerning the advance setting of work parameters, and concerning the results of processing, so as to judge whether to correct the advance set value or not to provide the results of processing when applying a processing tool to a wafer, the system analyses the data of measurement of the parameter of half-finished product before processing. Then, it detects the advance set value to be corrected, computes a correction, and makes a data to show that. Therefore, the photo truck 12 of the system 10 is equipped with a controller 16 and a measurement tool 14 linked to the station of an operator, in addition to a cover tool, an exposure tool, and a development tool. The controller 16 is a processor equipped with a proper image processing utility.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

06.07.2006

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or

application converted registration]
[Date of final disposal for application]
[Patent number]
[Date of registration]
[Number of appeal against examiner's decision of rejection]
[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]
[Date of extinction of right]

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号
特開2000-223413
(P2000-223413A)

(43)公開日 平成12年8月11日(2000.8.11)

(51)Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テマコード*(参考)
H 0 1 L 21/027		H 0 1 L 21/30	5 1 6 D
G 0 3 F 7/20	5 2 1	G 0 3 F 7/20	5 2 1

審査請求 未請求 請求項の数50 O L 外国語出願 (全 71 頁)

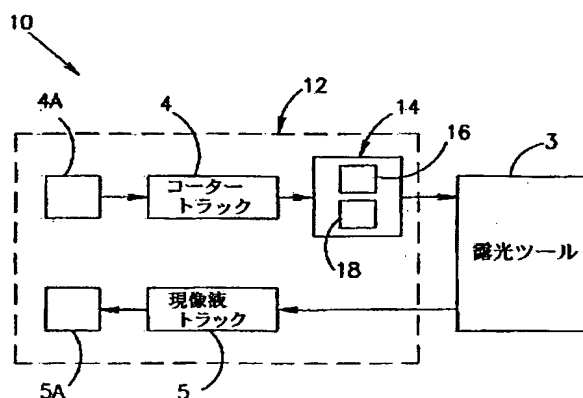
(21)出願番号	特願平11-198874	(71)出願人	599098253 ノバ メジャリング インストルメンツ リミテッド イスラエル国、76100 レホボト、ピーオ ーボックス 266、ワイズマン サイエ ンティフィック パーク (番地なし)
(22)出願日	平成11年7月13日(1999.7.13)	(72)発明者	ヨエル コーエン イスラエル国、74037 ネス-ジオナ、ア ニレビッチ ストリート 8/15
(31)優先権主張番号	1 2 5 3 3 8	(72)発明者	モシェ フィナロフ イスラエル国、76209 レホボト、シュコ ルニック ストリート 4/25
(32)優先日	平成10年7月14日(1998.7.14)	(74)代理人	100065226 弁理士 朝日奈 宗太 (外1名)
(33)優先権主張国	イスラエル (I L)		
(31)優先権主張番号	0 9 / 2 0 6 2 8 2		
(32)優先日	平成10年12月7日(1998.12.7)		
(33)優先権主張国	米国 (U S)		

(54)【発明の名称】 フォトリソグラフィープロセスを制御するための方法およびシステム

(57)【要約】 (修正有)

【課題】一定の加工結果を提供するために仕掛品 (W) の作業領域に適用される加工ツール3の少なくとも1つの作業パラメータの自動光学制御のための方法を提供する。

【解決手段】加工ツールの少なくとも1つの作業パラメータが、加工中の仕掛品の少なくとも1つのパラメータに影響を及ぼす。加工ツールが、仕掛品の加工の前に少なくとも1つの作業パラメータの事前設定値を有している。仕掛品の少なくとも1つのパラメータを測定し、それを表す測定済みデータを生じさせるために、加工ツールによる仕掛品の処理の前に前記仕掛品に適用される測定ツール14を提供する。作業パラメータの事前設定値に関して、及び加工結果に関して測定済みデータを分析し、加工ツールを仕掛品に適用するとき、一定のプロセス結果を提供するために事前設定値を補正しなければならないかどうかを判断し、補正しなければならないことを検出したときに、補正値を計算する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 一定の加工結果を提供するために仕掛品の作業領域に適用される加工ツールの少なくとも1つの作業パラメータの自動光学制御のための方法であって、加工ツールの前記少なくとも1つの作業パラメータが、加工中の仕掛品の少なくとも1つのパラメータに影響を及ぼし、加工ツールが、仕掛品の加工の前に前記少なくとも1つの作業パラメータの事前設定値を有しており、

(a) 加工ツールによる仕掛品の処理の前に前記仕掛品に適用される測定ツールを提供するステップと、(b) 以下のために仕掛品に測定ツールを適用するステップと、(c) 仕掛品の前記少なくとも1つのパラメータを測定し、それを表す測定済みデータを生じさせるステップと、(d) 作業パラメータの前記事前設定値に関して、および前記加工結果に関して前記測定済みデータを分析し、加工ツールを前記仕掛品に適用するときに前記一定のプロセス結果を提供するために前記事前設定値を補正しなければならないかどうかを判断するステップと、(e) 前記事前設定値を補正しなければならないことを検出したときに、補正值を計算し、それを表すデータを生じさせるステップとを含む自動光学制御のための方法。

【請求項2】 前記少なくとも1つの作業パラメータの関数として仕掛品の前記少なくとも1つのパラメータの形をとる少なくとも1つの校正曲線を表す基準データを提供するステップをさらに含む請求項1記載の方法。

【請求項3】 仕掛品の前記少なくとも1つのパラメータを表す理論上のデータを入手するために仕掛品の一定の特徴の名目値に基づき光学モデルを提供するステップをさらに含む請求項1記載の方法。

【請求項4】 前記基準データを提供するステップが、
— 仕掛品の前記少なくとも1つのパラメータを表す理論上のデータを入手するために仕掛品の一定の特徴の名目値に基づき光学モデルを提供するステップと、

— サイクルごとに測定ツールの作業パラメータの異なる値を使用し、希望される数の試験サイクルを実行するために仕掛品の試験領域に測定ツールを適用するステップであって、サイクルが

— 仕掛品の前記少なくとも1つのパラメータの第1測定を実行し、第1測定済みデータを生じさせることと、
— 加工ツールの加工に類似する試験領域の少なくとも一部を加工し、それにより試験領域の少なくとも一部の中で仕掛品の前記少なくとも1つのパラメータの変化を引き起こすことと、および

— 加工された部分の前記少なくとも1つのパラメータの第2測定を実行し、第2測定済みデータを生じさせることと、を含むステップと、

— 測定済みデータを分析し、仕掛品の前記少なくとも1つのパラメータを前記作業パラメータの関数として求めるために前記理論上のデータを使用するステップとを

含む請求項2記載の方法。

【請求項5】 測定ツールの作業パラメータの値が、加工ツールの作業パラメータの前記事前設定値を用いて事前に設定された比率のものである請求項4記載の方法。

【請求項6】 前記少なくとも1つの作業パラメータの推奨値を求めるために前記基準データを活用するステップをさらに含む請求項4記載の方法。

【請求項7】 前記理論上のデータと測定データを分析し、仕掛品の前記一定の特徴の名目値を補正することにより光学モデルを最適化するステップをさらに含む請求項3記載の方法。

【請求項8】 前記測定が、

— 所定の入射放射線によりウェハの少なくとも一部を照明するステップと、

— 照明された領域から返される放射線を検出し、それを表すデータを生じさせるステップとを含む請求項1記載の方法。

【請求項9】 前記第1測定および第2測定のそれぞれが、

— 所定入射放射線により試験領域の前記少なくとも一部を照明するステップと、

— 照明された領域から戻される放射線を検出し、それを表すデータを生じさせるステップとを含む請求項4記載の方法。

【請求項10】 第1測定および第2測定の前記分析が、

— 前記少なくとも1つのパラメータの第1測定値と第2測定値の間の差異が所定の条件を満たすかどうかを判断することを含む請求項4記載の方法。

【請求項11】 前記所定条件が、加工ツールを仕掛品の作業領域に適用することにより提供される一定の加工結果に関連している請求項10記載の方法。

【請求項12】 前記希望される数のサイクルが、対応する数の間隔をあけて配置されている試験領域の部分に適用される請求項4記載の方法。

【請求項13】 (f) 補正值を表す前記データに応じて、測定済み仕掛品の作業領域に適用される加工ツールの作業パラメータの前記事前設定値を補正するステップをさらに含む請求項1記載の方法。

【請求項14】 ステップ(b)が、(g) 加工ツールの加工に類似して試験領域の少なくとも一部内で測定済み仕掛品を加工し、それにより試験領域の前記少なくとも一部内の仕掛品の前記少なくとも1つのパラメータの変化を引き起こすステップと、(h) 試験領域の加工済み部分の前記少なくとも1つのパラメータの追加測定を実行し、追加測定済みデータを生じさせるステップとを含む請求項1記載の方法。

【請求項15】 前記加工ツールが生産ラインの一部であり、前記仕掛品が、前記測定ツールを通して加工ツールに向かって生産ラインに沿って進行している請求項1

記載の方法。

【請求項16】 前記生産ラインがフォトリソグラフィ装置である請求項15記載の方法。

【請求項17】 前記加工ツールが露光ツールである請求項16記載の方法。

【請求項18】 前記加工ツールが被覆ツールである請求項16記載の方法。

【請求項19】 加工ツールの前記作業パラメータが曝射線量である請求項17記載の方法。

【請求項20】 仕掛品の前記少なくとも1つのパラメータが吸収係数である請求項1記載の方法。

【請求項21】 仕掛品の前記少なくとも1つのパラメータが屈折率である請求項1記載の方法。

【請求項22】 仕掛品の前記少なくとも1つのパラメータが反射率である請求項1記載の方法。

【請求項23】 前記少なくとも1つの作業パラメータが、その少なくとも一番上の層の厚さである請求項1記載の方法。

【請求項24】 前記仕掛品が半導体ウェハである請求項1記載の方法。

【請求項25】 一定の加工結果を提供するために、仕掛品の作業領域に適用される加工ツールの少なくとも1つの作業パラメータの自動光学制御のための方法であって、前記加工ツールが、フォトリソグラフィ装置の一部であり、加工ツールの前記少なくとも1つの作業パラメータが加工中の仕掛品の少なくとも1つのパラメータに影響を及ぼし、加工ツールが加工の前に前記少なくとも1つの作業パラメータの事前設定値を備え、
ー 加工ツールによるその加工の前に前記仕掛品に適用される測定ツールを提供するステップと、
ー 以下のために、測定ツールを前記仕掛品に適用するステップと、
ー 仕掛品の前記少なくとも1つのパラメータを測定し、それを表す測定済みデータを作成するステップと、
ー 加工ツールを前記仕掛品に適用するときに、前記プロセス結果を提供するために前記事前設定値を補正しなければならないかどうかを判断するために、作業パラメータの前記事前設定値に関して、および前記加工結果に関して前記測定済みデータを分析するステップと、
ー 前記事前設定値を補正しなければならないことを検出したときに、補正值を計算し、それを表すデータを生じさせるステップとを含む自動光学制御のための方法。

【請求項26】 前記加工ツールが露光ツールである請求項25記載の方法。

【請求項27】 前記少なくとも1つの作業パラメータが曝射線量である、請求項26記載の方法。

【請求項28】 仕掛品の少なくとも1つのパラメータが反射率である請求項25記載の方法。

【請求項29】 仕掛品の少なくとも1つのパラメータ

が屈折率である請求項25記載の方法。

【請求項30】 仕掛品の少なくとも1つのパラメータが吸収係数である請求項25記載の方法。

【請求項31】 仕掛品の前記少なくとも1つのパラメータが、少なくともその最も上の層の厚さである請求項25記載の方法。

【請求項32】 前記仕掛品が、生産ラインに沿って進行している半導体ウェハである請求項25記載の方法。

【請求項33】 一定の加工結果を提供するためにその作業領域を加工するために仕掛品に適用される加工ツールの少なくとも1つの作業パラメータの自動光学制御用測定ツールであって、前記作業パラメータが、加工中の仕掛品の少なくとも1つのパラメータに影響を及ぼし、加工の前に前記少なくとも1つの作業パラメータの事前設定値を有し、(1)加工ツールの加工と類似した仕掛品の加工をするために適応された加工チャネルであって、加工チャネルの作業パラメータと所定の値である加工ツールの間の比率と、(2)仕掛品の前記少なくとも1つのパラメータを測定し、それを表す測定済みデータを生じさせるために適応されている測定チャネルと、

(3)前記加工チャネルに関連するアクチュエータであって、それらの内の1つを選択式で作動するためのアクチュエータと、(4)前記測定チャネルに結合されているプロセッサであって、仕掛品の前記少なくとも1つのパラメータを求め、分析するために前記測定済みデータに反応し、前記仕掛品に加工ツールを適用するときに前記加工結果を入手するために、仕掛品の加工の前に加工ツールの加工パラメータに適用される補正值を計算するプロセッサとを備えてなる自動光学制御用測定ツール。

【請求項34】 前記プロセッサが、仕掛品の前記少なくとも1つのパラメータを表す理論上のデータを入手するために、仕掛品の一定の特徴の名目値に基づき、光学モデルを表す基準データを活用する請求項33記載のツール。

【請求項35】 前記基準データが、前記少なくとも1つの作業パラメータの関数として、仕掛品の前記少なくとも1つのパラメータの形をとる少なくとも1つの構成曲線を表すデータベースを含む請求項34記載のツール。

【請求項36】 前記測定チャネルが所定の入射放射線を生じさせるための照明装置、光学装置、および検出器装置を備え、光学装置が仕掛品の一定の領域に前記入射放射線向け、照明領域から戻される放射線を検出器装置に向ける請求項33記載のツール。

【請求項37】 前記測定チャネルが、所定の入射放射線により仕掛品の一定の領域を照明し、照明された領域から戻される放射線を検出し、前記所定入射放射線の波長の関数として戻される放射線の強度を表すデータを作成する分光光学計である請求項33記載のツール。

【請求項38】 イメージング光学部品およびセンサを

含むイメージングチャネルも備え、イメージングチャネルが測定チャネルとともに作動されている請求項33記載のツール。

【請求項39】 前記プロセッサが、それに対する計算済み補正値を伝達するための加工ツールに結合される請求項33記載のツール。

【請求項40】 前記加工ツールが露光ツールである請求項33記載のツール。

【請求項41】 前記露光ツールがフォトリソグラフィーツール装置の一部である請求項40記載のツール。

【請求項42】 加工ツールの前記少なくとも1つの作業パラメータが、曝射線量である請求項40記載のツール。

【請求項43】 仕掛品の前記少なくとも1つのパラメータが、その上に形成されている材料の吸収係数である請求項33記載のツール。

【請求項44】 仕掛品の前記少なくとも1つのパラメータが、その上に形成されている材料の屈折率である請求項33記載のツール。

【請求項45】 前記少なくとも1つのパラメータがその反射率である請求項33記載のツール。

【請求項46】 仕掛品の前記少なくとも1つのパラメータが、その少なくともいちばん上の層の厚さである請求項33記載のツール。

【請求項47】 前記仕掛品が半導体ウェハである請求項33記載のツール。

【請求項48】 一定の加工結果を提供するために、生産ラインに沿って連続する仕掛品を加工するための少なくとも1つの加工ツールを有している生産ラインであって、前記加工手段は、加工中の仕掛品の少なくとも1つのパラメータに影響を及ぼすその少なくとも1つの作業パラメータを有しており、加工ツールが前記仕掛品の加工の前に前記少なくとも1つの作業パラメータの事前設定値を有しており、加工ツールによる加工の前に動作仕掛品に適用されるために設置されている測定ツールを含み、測定ツールが仕掛品の前記少なくとも1つのパラメータを測定し、加工ツールを前記動作仕掛品に適用するときに、加工結果を提供するために前記事前設定された値を変更しなければならないかどうかを判断する、生産ライン。

【請求項49】 前記少なくとも1つの加工ツールが、フォトリソグラフィーツール装置の一部である請求項48記載の生産ライン。

【請求項50】 前記連続仕掛品が半導体ウェハである請求項48記載の生産ライン。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、測定／検査技法の分野にあり、仕掛品を加工するための加工ツールの動作を制御するための方法およびシステムに関する。本発明

は、とくに、フォトリソグラフィーツールの動作を制御し、フォトリソグラフィープロセス全体を最適化するために、半導体装置の製造において有効である。

【0002】

【従来の技術】 半導体装置の製造は、アクティブエレメントおよびパッシブエレメントを定めるために半導体ウェハに適用されている複数の手順から成り立っている。ウェハが作成され、1つまたは複数の層がその上に堆積される。それ以降、フォトリソグラフィープロセスが実行され、回路エレメントに一致するパターンのあるウェハの表面が形成される。一番上の層に適用されるエッチングプロセスが、フォトリソグラフィーの後に続く。好ましくはこれらのプロセスを繰り返すことにより、マルチレベル半導体ウェハが作成される。このようにして、フォトリソグラフィーは、半導体装置の製造における主要なステップの1つである。それは、実際には、マスクから半導体ウェハへのパターンの光学的なイメージ転写から成り立っている。

【0003】 ウェハ上の特徴を最小限に抑えること、すなわちパターンをさらに細かくすることが半導体業界の共通した目標である。イメージ転写に使用されている光学システムがその限度に到達するという事実のために、リソグラフィープロセスは、その操作上の性能より高い要件を満たさなければならない。これは、新しいリソグラフィー装置および化学品の開発だけではなくより細かいプロセス制御を意味する。フォトリソグラフィープロセスの主要なステップは、以下の通りである。

(a) ウェハをフォトレジスト材 (PR) で被覆すること。

(b) PR上のマスクの潜像を作り出すために、マスクを通して、PRをUV放射線にさらすこと。

(c) 画像を作り出すために露光されたPRを現像すること、および、

(d) ウェハを測定し、検査すること。PRのUV光への露光中、PRは、露光されていないPRに比較して、多かれ少なかれ現像剤中で溶けやすくなり、それによりそれぞれポジ調画像またはネガ調画像を作成する。

【0004】 図1は、全体を示す符号1で示された、フォトリソグラフィープロセスを実行するための、一般的なフォトリソグラフィーツール装置、つまり、いわゆる「リンク装置」を示す。このようなリンク装置の実現の根底にある主要な考えとは、プロセス／ツール変動を最小限に抑えるために、各ツールが列内の次のものに役立つために専用となっているということである。リンク装置1は、2つの主要な部分から構成されている。つまりフォトラック2および露光ツール3である。フォトラック2は、それぞれ4aおよび5aと示されるカセット装填／抜き取りステーションと結び付けられているコータラック4および現像液トラック5から形成されている。ロボット (図示されていない) は、ウェハをカセ

ットステーション4aからコータートラック4に装填し、被覆手順が完了すると、それを露光ツール3に移送する。ここでは、マスク上のパターンが露光ツール3の内側に取り付けられている光学手段によりウェハ上にすでにある構造物と整列（登録）され、ウェハはマスクを通して電磁放射線にさらされる。露光後、ロボットが、ウェハを現像液トラック5に、それからカセットステーション5aに運ぶ。さらに、複数の異なる焼成手順が、ステップ(a)から(c)のあいだで実施されている。コータートラック2、露光ツール3、および現像液トラック5は、プロセス変化性、および非常に敏感なプロセスであるフォトリソグラフィー中の汚染の潜在的なリスクを最小限に抑えるためにともに緊密に接合される。

【0005】測定／検査ステップは、典型的には、直列臨界寸法(CD)測定に役立つ、大きなスタンドアロン機械である計測学ツールを用いて実施される。CD測定ツール7は、ウェハ上の代表的な線、スペース、および線／スペースの組の幅を測定する。従来のCD計測学ツールの動作は、2つの主要な方法に基づいている。つまり走査電子顕微鏡(CD SEM)および原子間力顕微鏡(CD AFM)である。CD測定は、典型的には、現像ステップの後に行なわれる。この目的のため、「現像された」ウェハは、リンク装置1から取り出され、ツール7により占有されている別個のCDステーションに移される。CD測定中に得られたデータは、(典型的にはCD計測学ツールと一体化している)プロセッサ8を用いて分析されてから、ある種のフィードバックが提供され(たとえば、許容範囲外の幅の場合には警報)、生産ラインの関連する装置に伝送される。

【0006】フォトリソグラフィープロセス全体の品質は、最終的な画像転写に影響を及ぼすことがあるすべての関連したパラメータの公差の組み合わせにより定められる。制御されなければならない(そして、調整および補正がさらに容易でなければならない)主要なパラメータとは、曝射線量、つまりPRに達するエネルギーの量である。

【0007】いわゆる「ウェハを先に送る(send ahead wafer)」という1つの既知の技法に従って、パイロットウェハが、装置1を通して、つまり被覆—露光—現像ステップを通して送られ、一定の推奨曝射線量(および時間)を適用してから、CD測定を受ける。測定の結果は、ロット全体のセットアップ条件、あるいはロット内の別のウェハの露光の前にツール3に適用されなければならない補正信号の基礎、つまりフィードバックループとなるだろう。このような「ウェハを先に送る」手順のシーケンス全体には多くの時間を要することがあり、生産ツールの貴重な時間が完全に活用されず、ウェハの流れが遅延する。別の技法によれば、各ロットは、いわゆる「ロット間(lot-to-lot)制御」を表すこのプロセスで次のロットが動作するための基礎となる。過去のロ

ットの結果を考慮することにより、小さい補正を行うことができる。しかしながら、ロット全体が失われてしまう可能性があるため、リスクの一定の増分が存在する。これらの技法は両方とも、時間、労力、および材料を消費し、通常、問題を含んだ原因を明らかにしない。

【0008】フォトリソグラフィーは、PR脱色の一定レベルで十分な結果を提供することが知られている。残念なことに、走査速度および光輝度の変動のため、毎回、最適な曝射線量を再生することは非常に困難である。

【0009】直接的にフォトレジストリソグラフィー画像と相関づけられている測定を提供するために生産で使用されている最も一般的な方法は、いわゆる「光学暴露試験」である。この方法によれば、フォトレジスト材で被覆されているウェハは、マスクを通して一連の異なる露光量で露光される。露光ステップおよび現像ステップに続いて、線量は、電子顕微鏡技法を活用して、線幅の関数として概算される。この方法は、フォトリソグラフィープロセス(つまり、被覆、露光、現像、焼成、抵抗など)のすべての関連する処理および材料を考慮することができるが、露光装置の高価で有効な時間を消費する。

【0010】米国特許第5,620,818号明細書は、校正曲線を構築するための潜像格子の屈折を活用するフォトリソグラフィー線量決定技法を開示している。この技法は、以下の特徴のためにオンライン生産制御とは両立しない。それは、特殊マスクが設計され、すべての関連したスタック層を有している特殊な試験ウェハを作成することを必要とする。十分な信号対雑音比を提供するために、大面積の試験用構造(格子パターン)が必要である。さらに、校正曲線構築時に各層および各レジストを考慮するためには、ウェハ上でのマスクの漸進的な露光のシーケンスが実施されなければならない。

【0011】米国特許第5,635,285号明細書は、露光のために補正を決定する複数の方法を開示している。それらの内の1つは、追加の位置合わせ手順の必要性を欠点として持つ移相マスクを使った露光に基づいている。別の方法は、焦点深度(DOF)の限度を克服するために複数の焦点条件で露光のための既知のFLEX技法を使用している。この方法は、位置合わせおよび拡大の誤差に関係する問題を抱えている。さらに別の方法は、追加の「焦点を外れた照明」の使用に基づいている。さらに特定すると、追加放射線が焦点深度の外側に加えられ、マスクがグレースケール様式(regime)として動作する。その結果、方法は、「マスク様式依存型」となり、そのため、マスク領域ごと、層ごと、および製品ごとに別個に適用されなければならない。

【0012】米国特許第4,474,864号明細書は、第1露光セットアップ用校正曲線の構築に関係している初期の計算手順を提示する線量計算のための方法を

開示している。この校正は、一定の単一な波長での脱色の結果生じる吸収を測定するためのいくつかの透明なウェハの被覆および漸進的な露光により実現される。ただし、この方法は時間がかかり、長い準備手順を必要とするため、実験室の測定手順に適しているが、リアルタイムプロセス制御には適していない。この方法は、厚さおよび露光中に変化し、それにより吸収に影響を及ぼす可能性がある屈折率（吸収だけ）の同時測定は考慮していない。さらに、この方法は、実際には誤差を生じさせる可能性がある反射がごくわずかであるという前提に基づいている。この特許明細書の開示によれば、校正曲線の演繹（deduction）は、単一波長に基づく。これは、測定値が、測定自体の誤差を減少する可能性がある統計的な平均化（averaging）をもたないことを示している。

【0013】前記を考慮すると、線量決定／補正のための既存の技法が、オンライン製造ステップとして使用できず、高い精度および自動分析、ならびにフィードバックよりむしろフィードフォワード線量制御を提供できないことは明白である。既存の方法は、フォトリソグラフィツールの高価で／有効な時間の浪費だけではなく、ウェハおよびフォトレジストおよび溶剤などの他の物質の無駄につながる。したがって、それらはリソグラフィツールの生産率（つまり、スループット）を削減する。さらに、現在の方法は、吸収係数 k および屈折係数 n などのPR層の光学パラメータの正確かつ高速な決定を考慮していないため、直接的な放射線量の補正を可能としない。

【0014】発明の要約

したがって、この分野の技術には、新規測定方法およびシステムを提供することにより半導体装置の製造において使用されているフォトリソグラフィプロセスの質を改善するニーズがある。

【0015】生産においてフォトリソグラフィのパラメータを制御するために使用することができるこのような方法およびシステムを提供することが、本発明の主要な目的である。

【0016】本発明の1つの態様に従って、一定のプロセス結果を提供するために仕掛品の作業領域に適用される加工ツールの少なくとも1つの作業パラメータの自動光学制御方法が具備され、加工ツールの前記少なくとも1つの作業パラメータは、加工中の仕掛品の少なくとも1つのパラメータに影響を及ぼし、加工ツールは、仕掛品の加工の前に前記少なくとも1つの作業パラメータの事前設定値を有しており、前記方法は、（a）加工ツールによるその加工の前に仕掛品に適用される測定ツールを提供するステップと、（b）以下の目的のために仕掛品に測定ツールを適用するステップと、（c）仕掛品の前記少なくとも1つのパラメータを測定し、それを表す測定済みデータを作成するステップと、（d）作業パラメータの前記事前設定値に関して、および前記加工結

果に関して前記測定済みデータを分析し、加工ツールを前記仕掛品に適用するときに、前記一定のプロセス結果を提供するために前記事前設定値が補正されるべきかどうかを判断するステップと、（e）前記事前設定値が補正されなければならないことを検出すると、補正値を計算し、それを表すデータを作成するステップとを含んでいる。

【0017】本発明の主要な考えは、以下から成り立っている。生産ラインに沿って進行している仕掛品は、加工ツールにより加工されなければならない。加工ツールの作業パラメータは、典型的には、事前設定値に調整される。加工ツールを用いた仕掛品の加工中、この作業パラメータの値は、仕掛品のいくつかのパラメータに影響を及ぼす。加工は、（加工結果を構成している）仕掛品のパラメータの一定の希望値を提供すると予想される。しかしながら、仕掛品が（生産ライン上で進行している半導体ウェハのような仕掛品を考慮するケースである）加工ツールに到達する前に、多様な手順が仕掛品に適用されていたという事実のため、これらの手順は仕掛品のパラメータに予測できない影響を及ぼす可能性がある。その結果、作業パラメータの事前設定値は、特定の仕掛品の実際の加工前条件の要件を満たし、加工プロセスが目的とする結果を満たすことができるように補正される必要がある。その目的のため、新規制御方法が提案される。方法は、加工前に仕掛品のパラメータを測定すること、および測定済み仕掛品に加工ツールを適用するときに、加工結果を達成するための事前設定値に適用されなければならない補正値を求めるために、作業パラメータの事前設定値および加工結果とともに、前記の測定値を分析することから成り立っている。その加工の前に仕掛品を測定し、加工ツールパラメータをそれに応じて調整する技法は、フィードフォワードクローズドループを表す。

【0018】測定および測定済みデータの分析を実行するためには、一定の基準データが提供され、使用される。基準データは、加工ツールの少なくとも1つの作業パラメータの関数として、仕掛品の少なくとも1つのパラメータの形で少なくとも1つの校正曲線を表す。基準データは、仕掛品の少なくとも1つのパラメータを表す理論的なデータを入力するために、加工品のある特徴の名目値に基づいた光学モデルも備える。光学モデルは、波長の関数としての放射線強度の形で理論的なデータ（数学等式）を提示し、放射線は、仕掛品の照明領域から戻される（反射される）ものである。反射放射線は、特定の既知の種類仕掛品に関連した既知の物理的な作用に従って仕掛品の必要とされているパラメータに依存する。

【0019】加工される仕掛品が、同じグループ（たとえば、ウェハのケースでは1つまたは複数のロットまたはバッチなど）の先行している（すでに加工されてい

る)仕掛品に続く場合、校正曲線は既知である(すでに入手されている)。知られている種類の仕掛品の「新規」グループを取り扱うとき、構成曲線は、グループ内で第1に来る仕掛品に関して作成される。その少なくとも1つの校正曲線を作成するために、いわゆる「セットアップ処理ステージ」が実行されなければならない。この段階は、希望されている数の「試験サイクル」を、処理中の仕掛品の「試験領域」内に適用することから成り立っている。ウェハのような仕掛品は、典型的には、作業(パターン化済み)領域の外に位置していて作業領域の特徴に類似する特徴を有している試験領域をもって形成される。

【0020】好ましくは、試験サイクルは、連続して試験領域に適用され、前述されるように位置している測定ツールにより実行されている、加工前測定、試験プロセス、および加工後測定のステップから成り立っている。この目的のため、測定ツールは、加工ツールによる処理に類似した仕掛品の処理をするために適応され、測定ツールと加工ツールの作業パラメータ間の割合は、所定値である。希望される数のこのような試験サイクルは、サイクルごとに測定ツールの作業パラメータの異なる値を使用して、試験領域内の対応する数の試験サイト(部分)への小さな移動により実行され、毎回、仕掛品の必要とされているパラメータの値を求める。

【0021】校正曲線から作業パラメータの推奨値を求めることができる。推奨値が、製造メーカにより与えられることもあることを注意する必要がある。この場合、校正曲線は、この指定値がプロセス結果を満足させるかどうかを判断し、それが加工結果を満たさないことを検出すると、推奨値に適用される補正値を計算するために役立つ。さらに、校正曲線の作成中、仕掛品のいくつかの特徴の名目値が更新され、そのように最適化された光学モデルが測定のためにさらに使用されるだろう。

【0022】各測定は、所定の入射放射線スペクトルにより試験領域内の少なくとも一部(試験サイト)を照明し、照明された領域から戻されている(反射されている)放射線を検出することにより実行される。このようにして入手された測定データは、波長の関数として放射線強度という形を取っている。測定済みデータと理論上のデータの間の適合手順を使用し、補正値を表すデータを作成するために、必要とされているパラメータを求め、分析することができる。このデータは、この特定の測定済み仕掛品に関し加工結果を入手するためのその作業パラメータの値を調整するために、加工ツールに「フィードフォワード」されてよい。

【0023】好ましくは、仕掛品はウェハであり、生産ラインは従来のフォトリソグラフィ装置である。ウェハの作業領域とは、希望されているパターンをもって形成されているまたは形成されることになる領域である。制御されなければならない加工ツールは、好ましくは、

露光ツールであり、補正される作業パラメータとは曝射線量である。しかしながら、一般的には、加工ツールは、フォトリソグラフィ装置(つまり、コーター、現像液など)で使用されている装置の内の任意の1つであってよい。仕掛品のその少なくとも1つの測定済みパラメータは、ウェハの反射率(つまり、基板または基板上のフォトレジスト層のどちらかの反射率)、PR屈折率、吸収係数または厚さである。

【0024】したがって、本発明の別の態様によれば、一定の加工結果を提供するために仕掛品の作業領域に適用される加工ツールの少なくとも1つの作業パラメータの自動光学制御の方法が提供されており、前記加工ツールがフォトリソグラフィ装置の一部であり、加工ツールの前記少なくとも1つの作業パラメータが加工中の仕掛品の少なくとも1つのパラメータに影響を及ぼし、加工ツールが、加工前に前記少なくとも1つの作業パラメータの事前設定値を有しており、前記方法が、

- 加工ツールによりその加工の前に前記加工品に適用される測定ツールを提供するステップと、
- 以下のために測定ツールを前記ウェハに適用するステップと、
- ウェハの前記少なくとも1つのパラメータを測定し、それを表す測定済みデータを作成するステップと、
- 作業パラメータの前記事前設定値に関して、および加工ツールを前記ウェハに適用するときに、前記事前設定値が前記加工結果を提供するために補正されるべきかどうかを判断するために、前記加工結果に関して前記測定済みデータを分析するステップと、
- 前記事前設定値が補正されなければならないことを検出すると、補正値を計算し、それを表すデータを作成するステップとを含んでいる。

【0025】本発明のさらに別の態様によれば、一定の加工結果を提供するためにその作業領域を加工するために仕掛品に適用されることになる加工ツールの少なくとも1つの作業パラメータの自動光学制御に測定ツールが提供され、前記作業パラメータは、加工中の仕掛品の少なくとも1つのパラメータに影響を及ぼし、加工ツールが、加工前に前記少なくとも1つの作業パラメータの事前設定値を有し、前記測定ツールは、(1)加工ツールの加工に類似して仕掛品を加工するために適応されている加工チャネルであって、加工チャネルの作業パラメータと加工ツールの作業パラメータとの間の割合が所定の値である加工チャネルと、(2)仕掛品の前記少なくとも1つのパラメータを測定し、それを表す測定済みデータを作成するために適応されている測定チャネルと、

(3)前記加工チャネルと前記測定チャネルとに付随し、それらのうちの1つを選択して作動するためのアクチュエータと、(4)前記測定チャネルに結合されているプロセッサであって、仕掛品の前記少なくとも1つの

パラメータを求め、分析するために前記測定済みデータに反応し、加工ツールを前記仕掛品に適用するときに、前記加工結果を達成するために、仕掛品の加工の前に、加工ツールの作業パラメータに適用される補正值を計算するプロセッサとを備えている。

【0026】本発明のさらに別の態様によれば、一定の加工結果を提供するために、生産ラインに沿って進行している加工連続仕掛品のために適応されている少なくとも1つの加工ツールを有している生産ラインが具備され、前記加工ツールが、加工中の仕掛品の少なくとも1つのパラメータに影響を及ぼす少なくとも1つのその作業パラメータを有しており、加工ツールが前記仕掛品の加工前に前記少なくとも1つの作業パラメータの事前設定値を有しており、生産ラインが加工ツールによるその加工の前に加工すべき仕掛品に適用されるために設置されている測定ツールを備え、測定ツールは、仕掛品の前記少なくとも1つのパラメータを測定するために適応されており、前記運転中の仕掛品に加工ツールを適用するときに、前記事前設定値が、加工結果を適用するために補正されなければならないかどうか判断するために適応されている。

【0027】さらに具体的には、本発明は、露光ツールパラメータを制御するためのフォトリソグラフィツール装置とともに使用されるため、本出願に関して以下に説明される。

【0028】図面の簡単な説明

本発明を理解し、それが実際問題としてどのように実行されてよいのかを確かめるために、好まれている実施態様が、添付図面に関して、非制限的な例だけにより以下に説明されるだろう。

【0029】従来の技術および好ましい実施態様の詳細な説明

従来の技術

図1は、ウェハのフローチャートとともに、全体を符号1で示され、それぞれ被覆ツール、露光ツール、および現像ツールの4、3、および5を含む従来のフォトリソグラフィツール装置、および図1にはとくに図示されていないロボットを図解している。装置1は、典型的には、加工およびツールパラメータを制御するための手動フィードバックループを提供するために適切なプロセッサ8を具備しているCD測定ツール7により占有されている別個の測定/検査ステーションに結び付けられている。CD測定ツール7は、典型的には手動で装填/抜き取りされる高価な「スタンドアロン」装置である。

【0030】本発明の作業環境

リンク装置

図2aを参照すると、本発明に従って構築され、動作される、全体を10と示されるシステムが図解されている。システム10は、従来の装置1に類似したフォトリソグラフィリンク装置をウェハフローチャートとともに

に提示するが、「フィードフォワード」ループの提供に含まれるいくつかの独特な機能を有している。本発明の主要な概念の理解を容易にするために、装置1およびシステム10において同一である構成部品を識別するため同じ参照番号が使用されている。このようにして、被覆ツール、露光ツールおよび現像ツールに加えて、システム10のフォトラック12は、制御装置16およびオペレータのステーション18に結び付けられている測定ツール14を備える。制御装置16は、適切な画像処理ユーティリティを備えているプロセッサである。ステーション18の構築および動作は、本発明の一部を形成していないため、ステーション18が、典型的には、データベースおよびユーザインタフェースを備えているパーソナルコンピュータを含むことを注記する以外、とくに説明される必要はない。

【0031】クラスタ装置

図2bは、リンク10の構造に比較していくぶん異なる構造を有している、いわゆる「クラスタツール」というフォトリソグラフィ装置を提示するシステム100を図解している。同様に、システム10および100で同一である構成部品を示すためには、同じ参照番号が使用される。ここでは、クラスタツール10内で各仕掛品を伝達するロボット6が図解されている。このようにして、システム100は、従来のクラスタツールに加えて、測定ツール14を備えている。

【0032】測定ツールの概念

測定ツール14は、仕掛品が、たとえば露光ツール3などの、制御される加工ツールへ到着する前に適用されるように設置される。図2aの例に従って、測定ツール14は、露光ツール3の上流に設置される。言い替えると、ウェハ（図示されていない）は、PR被覆手順および焼成手順後に（ロボットにより）測定ツール14にもたらされる。測定ツール14に到達すると、ウェハは、その露光準備完了位置にあり、一定のPR層により被覆されている。ウェハは、その露光ツール3への途中にあり、そこで一定のUV放射線波長 λ_0 の一定の線量 d_0 にさらされなければならない。線量値および波長値 d_0 および λ_0 は、露光ツール3の名目の、調整されている

（「知られている」）パラメータである。追加の「知られている」パラメータは、基板反射率 R_{sub} 、およびツール3を用いた露光手順後に入手されるPR層の、つまり露光ツール3から続いて起こり、現像液ツール5の中に進行している加工済みウェハ上のPR層の知られているパラメータである。知られているように、反射率信号は、正反射（鏡面反射）成分および拡散成分（ R_{spec} および R_{diff} ）から構成されている。PR層のパラメータは、吸収係数 k と屈折率 n （光学パラメータ）、および厚さ h である。したがって、露光ツール3は、以下のパラメータの希望されている露光後の値を提供するために、予想されている基板物質およびPR層（つまり、一

定の予想光学パラメータと厚さを有している)に適用される露光手順(つまり、曝射線量 d_0)のために準備(調整)されている。それらのパラメータは、入射光の波長の関数としての基板反射率(つまり、PR層の下)の $R_{\text{sub}}(\lambda)$ (R_{spec} と R_{diff})、 $k(\lambda)$ 、 $n(\lambda)$ 、および h である。これらのパラメータの希望される値は、予想される加工結果を構成する。

【0033】ただし、加工中のウェハWは、入ってくる基板、PR材、および被覆ツールの変動のために予想されている値に一致しない前記のパラメータの実際の値をもっている可能性がある。測定ツール14は、プロセッサ16とともに、加工中の実際のウェハに適用されるときに、希望されるPR層パラメータを得るために、露光ツール3の曝射線量 d_0 に対してなされるリアルタイムの線量補正 Δd を行なうのに役立つ。このリアルタイム補正は、ツール3内での露光手順の前にツール14により実行され、それにより露光プロセスのフォワード制御を実現している。

【0034】機器

図3を見ると、測定ツール14の主要な構成部品が、さらに明確に図解されている。ツール14は、露光ツールにより加工されるシステム10に沿って進行するウェハWに結び付けられている。ウェハWは、測定中にウェハを段階的にサポートするために、ここにはとくに示されていない載置台の上に位置している。ツール14は、通常露光、測定、および画像取得に役立つ、それぞれ20a、20b、および20cの3つの操作チャネルを備える。測定用チャネル20bは、ウェハWのPR層の光学パラメータおよび厚さを求める分光光度計である。一般的には、分光光度計チャネルおよびイメージングチャネル20bおよび20cは、本出願の譲受人に譲渡されている米国特許第5,517,312号の明細書に開示されているもののような任意の既知の種類であってよい。

【0035】露光チャネル20aは、照明装置22、光案内装置24、および検出器装置26から成り立っている。照明装置22は、典型的には、UV入射放射線を生じさせるための光源28、単色フィルター30、およびピンホール32を備える。チャネル20aを用いた露光手順は、露光ツール3と同じ波長 λ_0 を活用する。そのため、単色フィルター30が適切に具備される。光案内装置24は、ビームスプリッタ34と36、管レンズ38、ビームスプリッタ40、および対物レンズ42を備える。後者は、従来の方法で自動焦点調節の目的のための、明確に図示されていない適切なモータにより駆動される。ビームスプリッタ40は、入射放射線の一部を検出器26に向けて、ウェハWの上(つまり、その一番上のPR層)に焦点が合わせられる対物レンズ42に他の部分を偏向する。これらのすべての光学素子の動作原理は、それ自体既知である。

【0036】測定用チャネル20bは、入射光を生じさ

せる光源44、光学装置46、および検出器装置47を備える。光源44は、光源44がツール14の中に光を案内するための適切な光案内光学部品に結び付いているのならば、ツール14全体に関して外部の放射線源であってよいことを注記しなければならない。光学装置46は、パターン認識モードおよび測定モードの両方で動作する。光学装置46は、フィルター48、グリッドアレイ50、光案内装置24、および追加ビームスプリッタ52を備える。フィルター48は、UV放射線を遮断するように設計されており、それぞれチャネル20bを通り抜ける光の光学経路の内および外にあるその動作位置と非動作位置のあいだで変位可能であるアクチュエータ

(図示されていない)により適切に駆動されている。フィルター48の動作位置および非動作位置は、それぞれ光学装置46のパターン認識モードおよび測定モードに対応する。検出器装置47は、分光光度計センサ54およびピンホール56を備える。グリッドアレイ50は、典型的には、画像焦点合わせを容易にする。ピンホール56は、典型的には、露光領域縁部影響を排除するために利用される。ビームスプリッタ40および検出器装置26とともに、対物レンズ42が、X軸、Y軸、およびZ軸に沿った移動のために可動光学ヘッド(図示されていない)上に取り付けられるのが好ましい。この場合、光ビームは追加の鏡によって光学ヘッドに向かって、および光学ヘッドから向けられる。この技法は、前述した米国特許第5,517,312号明細書に開示されている。

【0037】イメージングチャネル20cは、ウェハWと分割鏡52のあいだの分光光度計チャネルの経路、および光学鏡58とCCDカメラ60により形成される。CCDカメラ60は、自動焦点合わせのために投影されるグリッドを含む全画像を受け取る。

【0038】それぞれ露光チャネル20aおよび測定チャネル20bの中に設置されている(アクチュエータを備えている)シャッター62と64もさらに具備されている。このようにして具備されているシャッターにより、露光チャネルまたは測定チャネルのどちらかを選択式で作動できるようになる。その結果、測定チャネル20bがいったん作動されると、イメージングチャネル20cが関与する。測定ツール動作ツール動作の主要なモードは、PR層の所定サイトの第1の分光光度計測定、露光ツール線量と波長に同等な線量と波長を備えたそのサイトのプローブ露光、同サイトの第2の分光光度計測定、それから曝射線量補正の計算を含む。

【0039】プローブ露光

露光チャネル20aは、一般的には、同じ波長 λ_0 を使用する露光ツール3のプローブ露光手順に類似するプローブ露光手順を実行する。ただし、プローブ露光は、たとえば画線内のウェハWのパターン化された領域(ダイス領域)の外側に典型的に位置している試験サイト(図

示されていない)で実施され、露光ツール3の名目(既知)線量 d_0 に同等な一定の所定の曝射線量 d_i を使用する。

【0040】プローブ曝射線量 d_i は、一定のマスクまたは製品の正確に名目の露光ツール線量 d_0 である必要はないが、それらのあいだの割合は設定されなければならない。これは、最初にCD結果に対する相互関連を実行することによるか、または名目露光に関する知られているデータを使用するかのどちらかにより実現される。このようにして、測定ツール14は、プローブ曝射線量 d_i と露光ツール線量 d_0 の間の比例割合を使用し、加工中の実際のウェハの適切な露光のために、露光ツール線量 d_0 に適用される正確な補正 Δd を求める。

【0041】試験サイトは、レジストとその下にある層の同じスタックを有しているダイス領域内の領域に類似した明確な領域でなければならない。サイト領域は、露光ツール3で使用されるマスクの明確なマスク領域の内側になければならない。実際には、約 50×50 ミクロンのウェハ面積が、マスクに関連した信号対雑音の要件を満たす。

【0042】スペクトル反射率測定

チャネル20bの動作中、入射光は光案内光学部品46を通り抜け、ウェハWに衝突し、ビームスプリッタ34まで光案内光学部品24を通して後方方向に伝搬する反射光を作り出す。ここでは、光伝搬は、測定装置14の主要な構成要素および動作原理の説明を容易にするために概略的に図示されている。後者は、反射された光を検出器装置47に向ける。ビームスプリッタ52は、反射された光の一部を分光光度計線さ54に伝達し、反射された光の他の部分をイメージングチャネル20cの中に反射させる。分光光度計チャネル20bの動作は、光学パラメータ(吸収係数 k および屈折率 n)、基板反射率 R_{sub} 、およびウェハ上のPR層の厚さ h を決定することを目的としている。分光光度計センサ54は、PR層から反射される光を受け取り、それを表すデータを生成する。測定データは、光波長 λ の関数として基板または/およびPR反射率 I_m つまり $I_m(\lambda)$ の形をとる。

【0043】測定データ分析

プロセッサ16は、測定データ $I_m(\lambda)$ に対応して前記パラメータ R_{sub} 、 k 、 n 、および h を計算する。この目的のため、プロセッサ16は、一定の光学モデル係数の名目値に基づいて(基準データを構成している)所定の光学モデルを実行するために事前にプログラミングされている。これらの係数は、加工中のスタックに類似した種類のマルチレイヤスタックからの光反射を記述する既知の物理法則、およびオブションでUV放射線にさらされるときに感光性の構成要素(PAC)の挙動により定められている。スペクトル分析手順は、以下にさらに詳細に説明される。

【0044】PRをUV光にさらすと、化学変化(たと

えば、異なる可溶性)およびPRの光学特性、つまりその吸収と屈折の変動が生じる。PR材は、典型的には、光学吸収に影響を及ぼす主要な要因である脱色効果により特徴付けられている。PAC露光の挙動は、典型的には、ベールの法則と結合されたランベルトの吸収の法則により定められている。この技法は、3つのフォトレジストパラメータABC(つまりDIIIパラメータ)を使用し、AとBは、それぞれ脱色可能吸収係数と脱色不能吸収係数であり、Cは標準露光率定数である。DIIIパラメータは、リソグラフィプロセスのCD評価およびシミュレーションで重要な役割を果たし、フォトレジストおよびその裏側が無反射コーティング(ARC)で被覆された石英基板の伝達される強度を測定するための、既知のオフラインの不便な技法を活用することにより求めることができる。マルチレイヤスタック(つまり、ウェハ)からの反射の光学モデルにおいては、波長の関数として、PR反射率 $I_{th}(\lambda)$ を表す理論上のデータに基づいたDIIIの数学方程式が使用できるだろう。DIIIパラメータは、PRの化学特性および光学特性の露光効果を記述するので、数学方程式は、各線量レベルでのPR層からの反射率を理解するために使用できるだろう。

【0045】本発明に従って、PRのABCパラメータの事前の知識に対する必要性はない。本発明の好ましい実施態様の内の1つは、露光時間の値を適用し、波長の関数としてPR反射率 $I_m(\lambda)$ の測定データを求めるときに、校正曲線から高速かつ正確にこれらのパラメータの計算を提示する。それから、UV放射線にさらされているPACの挙動は、正確に説明することができる。補正された(更新された)PRパラメータを使用する光学モデルが計算され、DIIIパラメータABCが更新されるだろう。この技法は、高速インラインモードでPRの特徴付けのために光学モデルを最適化するためにも役立つことがある。いったん補正されたABCが求められると、計算された理論上のデータ $I_{th}(\lambda)$ を測定済みのデータ $I_m(\lambda)$ に整合するルーチン試験が、測定ごとに追加特性として提示できるだろう。校正曲線から実際検索することができるのは、 $I_{th}(\lambda)$ 線量放射線に対する正確な光学パラメータ反応を入手するための経験に基づいた技法である。したがって、光学パラメータ反応を介した線量制御は直接実行することができる。

【0046】正確な露光を達成し、反復可能な線量をレジストに与えることができることを確実にするためには、優れた自動焦点合わせ機構が、システム10の中に統合されなければならない。焦点精度に対する要件は、使用されているリソグラフィックプロセスの焦点深度より優れていなければならない。つまり、今日の技術水準では、 $1 \mu m$ を下回る焦点精度が必要とされている。焦点目標に関しては、この目標が露光位置に近く、視界より狭い限り、任意の高いコントラストパターンを使用す

ることができる。自動焦点合わせ方法自体は、たとえば、米国特許第5,604,344号明細書で開示されているもののような任意の適当な既知の技法を利用してよい。

【0047】校正手順

概要

測定装置14は、以下に示すように動作する。装置14の第1動作段階は、現在、露光されることになる特定のPR層用データベースの作成から成り立っている。さらに特定すると、過去に提供された光学モデルが最適化され、(基準データを構成する)校正曲線が、実際のPR材、基板反射率 R_{sub} 、および名目厚さに基づいて作成される。 h および R_{sub} という名目値での考えられる変化の影響は、校正曲線での多大な変化を引き起こさないほど小さいと考えられていることが想定される。校正曲線は、光学パラメータ k および n に影響を及ぼすプローブ照射線量の変動を提示する。図4aおよび図4bは、それぞれ、照射線量の関数、つまり $k(d_j)$ および $n(d_j)$ としてのPR光学パラメータ、および線量の関数、つまり $\partial d / \partial k(d)$ と $\partial d / \partial n(d)$ としての光学パラメータの変化による照射線量の変化を表す4つのグラフC1とC2、およびG1とG2を示している。

【0048】厚さおよび基板反射率での変化が検出される(つまり、測定される)と、人は、厚さおよび基板反射率の現在値を含む反射の、厚さおよび基板反射率の名目値からの既知の反射に対する比率を使用することにより、照射線量に必要とされる補正を計算することができる。

【0049】校正曲線決定

図5は、第1動作段階、つまりセットアップ動作の主要なステップを示している。最初に、いわゆる「事前位置合わせ」(つまり登録)手順が、処理されるウェハスタックから最初に出てくるウェハ、つまりパイロットウェハに適用されている従来の方法で実行される(ステップ70)。それから、パイロットウェハ(または、測定チャンネル20bの対応する光学部品)が、試験サイト位置、いわゆる「校正サイト」まで移動される(ステップ72)。ここでは、サイトパターン認識手順および自動焦点合わせ補正手順が、イメージングチャンネル20cで実現される(ステップ74)。そのために、シャッター62および64は、露光チャンネル20aを遮断し、測定チャンネル20bを作動するために、それぞれ、その非操作位置および操作位置にある。フィルター48に関しては、それは、その運転位置、つまりチャンネル20bを通して伝搬する光学経路内にある。それ以降、一定の露光分光光度測定手順が適用される(ステップ76)。この手順は、以下のものから成り立っている。

【0050】フィルター48は、チャンネル20bを通り抜ける光の光学経路から外れて、その非運転位置に移動される。すなわち、チャンネル20bは測定モードに切り

替えられる。波長の関数、つまり $I_m(\lambda)$ としてのPR反射率が測定され、光学パラメータ $R_{sub}(\lambda)$ 、 $n(\lambda)$ 、 $k(\lambda)$ 、およびPR層の厚さ h が、 D_{i11} パラメータの名目値に基づいてオプションで光学モデルを使用して計算される。それから、シャッター62および64が、それぞれ、露光チャンネルと測定チャンネル20aと20bを開放し、閉鎖し、プローブ露光が、露光ツール名目線量 d_0 に比例して所定の照射線量 d_i を使用して適用される。それ以降、シャッター62および64は、それぞれ、露光チャンネル20aを遮断し、測定チャンネル20bを作動するために動作され、「露光後」測定は、測定されたデータ $I'_m(\lambda)$ を入手し、パラメータ $k'_j(\lambda)$ 、 $n'_j(\lambda)$ 、厚さ h'_j 、および反射率 R'_{sub} を計算するために実行される。「校正サイト」は、実際には、 m 個の試験サイトのアレイを含む。このアレイ内でのサイトからサイトへの(オプションでは小さい)移動、および m 回の異なる照射線量で前記方式を実行することにより、校正曲線 $k(d)$ および $n(d)$ が入手される(ステップ78)。校正曲線から、推奨照射線量 d_{rec} が求められる(ステップ80)。推奨線量 d_{rec} は、計算されたパラメータ k 、 n 、 R_{sub} および h のそれぞれが、露光ツール3を用いる露光手順により入手される希望されているパラメータの内の対応する1つに同等である線量値である。したがって、この特殊PRコーティングに関連するデータベースが提供される(ステップ82)。このデータベースは、一定の基板反射率 R_{sub} に関して、線量の関数(つまり、 $k(d)$ 、 $n(d)$ 、 $h(d)$)としてのPRの光学パラメータおよび厚さを含む。一定の名目線量がエンドユーザにより指定される場合には、推奨線量の決定に関連する前記ステップが排除できるだろうことを注記しなければならない。この場合、名目線量値は、必要ならば測定を通して分析され、補正される推奨線量として役立つ。

【0051】この段階では、すなわち露光ツール3のこの推奨線量値 d_{rec} の場合には、光学モデルは、測定済みデータ $I'_m(\lambda)$ と対応する理論上のデータ $I_{th}(\lambda)$ の間で適合手順を実行することにより最適化できるだろう。前に示したように、理論上のデータは、一定の光学モデル係数を使用して入手される。これらの係数は、典型的には、測定済みデータと理論上データのあいだのいわゆる「適合度」を定めるメリット(merit)関数の形をとる、一定の条件を満たすために調整することができる。

【0052】測定手順および露光制御

測定手順は、照射線量に影響を及ぼす、基板反射率、PR厚さ、およびPR光学パラメータというすべてのパラメータの決定から成り立っている。図6は、それぞれ測定および光学モデルを通して入手されている波長の関数としてPR反射率を表している2つのグラフ I_m および I_{th} を示している。PRパラメータ、 h 、 n 、 k および

R_{sub} の値を変化させる（適合させる）ことにより、充分な適合度を得ることができるだろう。これを実行することにより、光学モデル係数は更新され、光学モデルは最適化される。

【0053】基板反射率の曝射線量に対する寄与は、以下の2つの基本的な技法により計算できるだろう。

(1) 分光光度計チャネルによる、PRコーティング前のサイトの追加測定

(2) 測定済みデータ I_m から基板反射率 R_{sub} およびPRパラメータを同時並行で計算すること
両方のケースにおいて、基板反射率の名目反射率からの変動の影響を演繹し、考慮に入れることができる。

【0054】計算が、推奨線量値が加工結果、つまりPRパラメータの希望値を達成しないことを示す場合、動作は追加試験サイト、いわゆる「測定サイト」に移動され、推奨曝射線量 d_{rec} に適用されることになる補正を決定するために、追加動作段階が実行される。この動作段階の主要なステップが、図7に改めて説明するまでもなく図解されている。

【0055】前述したように、セットアップ動作の結果、この特殊PRコーティングに関連するデータベースが提供される（ステップ82）。それ以降、測定—露光—測定手順が、推奨曝射線量 d_{rec} および露光ツール波長 λ_0 を使用して一度実行される（ステップ92）。露光前PRパラメータ $k_1(\lambda)$ 、 $n_1(\lambda)$ 、 h_1 および露光後PRパラメータ $k_2(\lambda)$ 、 $n_2(\lambda)$ 、および h_2 が別個に入手される。対応するパラメータは、それらのあいだの差異つまり Δk 、 Δn 、および Δh を求めるために比較される（ステップ94）。これにより、推奨曝射線量 d_{rec} が補正される必要があるかどうかを検出できるようになる（ステップ96）。補正される必要がある場合は、補正された曝射線量 d_{cor} が、以下のようにして計算される。

【0056】

【数1】

$$d_{\text{cor}} = d_{\text{rec}} + \Delta d$$

【0057】ここでは、 Δd は、 Δh 、 Δk 、 Δn 、 δR_{sub} の関数である。つまり $\Delta d = f(\Delta k, \Delta n, \Delta h \text{ および } \delta R_{\text{sub}})$ であるか、あるいはさらに特定すると、

【0058】

【数2】

$$\Delta d = (k_c - k_m) \cdot \left(\frac{\partial d}{\partial k} \right)_{c + \varepsilon_{R_{\text{sub}}}}$$

【0059】この場合 k_c および k_m は、それぞれ校正曲線から、および測定によって入手されている吸収係数の値である。 $(\partial d / \partial k)_c$ は、「校正」吸収係数用の線量に対応する傾斜値である。 $\varepsilon_{R_{\text{sub}}}$ は、露光波長での、スタック内のすべての層を含んだ、基板の絶対反射率レベルによる線量変化である。比率 $\delta R_{\text{sub}} / R_{\text{sub}}$ が

線量変化に関する以下の条件を満たすとき、

【0060】

【数3】

$$\frac{\delta R_{\text{sub}}}{R_{\text{sub}}} \ll 1$$

【0061】線量変化は

【0062】

【数4】

$$\varepsilon \sim -\alpha \cdot \delta R_{\text{sub}}$$

【0063】となり、この場合、一定のPRの場合、 α = 定数 (Const) である。

【0064】測定（第2）段階は、複数の測定—露光—測定サイクルを含むことができるだろうことに注記しなければならない。言い替えると、所定パラメータは、1回の名目線量よりむしろ、複数回の部分線量を適用することにより訂正されるだろう。

【0065】さらに明確に前述した本発明の独特な特徴を説明するために、露光制御の以下の例を考えてみよう。

【0066】実施例

この例では、 $\delta R = 0$ 、 $\Delta h = 0$ である。図4aおよび図4bに戻ると、校正曲線が入手されている。言い替えると、関連データベースは、前述されたようにすでに作成されている。推奨曝射線量は以下の通りである。

【0067】

【数5】

$$d_{\text{rec}} = 4 \text{ mJ/cm}^2$$

【0068】校正曲線 C_1 および G_1 は、この線量値の場合には、以下になることを示している。

【0069】

【数6】

$$kc = 0.006417; \quad (\partial d / \partial k)_c = -375.37$$

【0070】線量補正が必要である典型的なケースを考慮すると、第2の動作段階が実行される。つまり、推奨曝射線量による露光が測定サイトに適用され、吸収係数に対する測定された（計算された）データが、以下であると求められる。

【0071】

【数7】

$$k_m = 0.005636$$

【0072】吸収係数の測定値 k_m に関し、校正曲線 C_1 および G_1 に見られるように、以下となる。

【0073】

【数8】

$$dm = 4.5 \text{ mJ/cm}^2 \quad (\partial d / \partial k)_m = -393.3$$

【0074】補正済み線量値に対して前記等式を使用すると、以下となる。

【0075】

【数9】

$$\Delta d = \frac{1}{2}(0.006417 - 0.005636) \cdot (-375.37 - 393.3)$$

$$\Delta d = (-0.3) \mu\text{m} / \text{cm}^2$$

【0076】したがって、PR脱色の希望される値を入手するためには、露光ツール3の曝射線量が7.5%減少されなければならない。この特定の例では、線量補正の完全なシーケンスは、k校正曲線に関して実現される。類似する手順は、n校正曲線に関して実行されてよい。

【0077】プロセス制御応用

プロセッサ16は、補正値 Δd を求め、それを表すデータを作成する。このデータは、直接的に、または特殊ホスト施設(図示されていない)を介してのどちらかにより露光ツール3の各ユーティリティに伝送される。この技法は、実際には、補正信号の検出、および露光ツール3への「フィードフォワード」を表す。

【0078】露光ツール3に対する適切な線量を求めることを目標とした高速で、正確、かつ自動的な測定の前述した方式が、試験構造、パターン、およびウェハ上の特別に設計されているマークなどの異なる種類の対象に適用することができることに特に注記されなければならない。

【0079】さらに、高速で正確、かつ自動的な測定の前述した方法は、プロセス制御全体に使用できるだろう。実際、この方法により、任意の基板上での液体および固体ARCを含む任意の放射線に敏感な物質のパラメータを比較、評価することが可能になる。測定は、ウェハ全体で、ウェハ間で、ロット間、またはバッチ間で実施できるだろう。測定装置14は、「リンク」または「クラスタ」などの任意のフォトリソグラフィーツール装置の一部として設置できるだろう。各ウェハに適用されている前述された動作により、ウェハ間の動向は、たとえばPR感光性などの「露光前起源」をもつあらゆる変動を克服するために必要とされる露光の量に対しフィードバック補正を与えるために決定できるだろう。最終的に入手されたCDは、多様なパラメータにより補正されてよいことが知られている。この関係で、測定中に見つけられるだろうパラメータk、n、およびhの変化性は、これらのパラメータによって補正することができる。複数のフィードバックオプションが、ループを閉じ、PRのkパラメータ、nパラメータ、hパラメータまたは R_{sub} パラメータの変化性を補正するために実行することができる。

【0080】測定ツール14の提供により、その処理が、スピン速度、湿度、温度、排気などの被覆パラメータのインラインまたはオフラインのクローズドループの確立を可能にするこのようなデータを入手できるようにする。さらに、測定ツールは、たとえば、開発時間、露光後焼成(PEB)時間、PEB温度などの開発加工パラメータのインラインまたはオフラインのクローズドル

ープ制御に利用できるだろう。

【0081】また、このようにして得られた校正曲線が、ABCパラメータ(つまりDIIIパラメータ)の高速で正確、かつ自動的なインライン決定に備えることも注記しなければならない。実際、一連の部分露光により、総合PR脱色が達成できる。初期の「露光前」反射率スペクトルへの適合と最終反射率スペクトルへの適合とから、初期吸収および最終吸収が決定され、それらのあいだの差異は第1DIIIパラメータAを表す。

【0082】前述した技法により、ABCパラメータのインライン決定を使用して、ウェハ上の任意の位置に対する曝射線量をインライン予測できるようになる。このため、CD値の予測が可能になり、 R_{sub} パラメータ、ABCパラメータ、nパラメータ、kパラメータ、およびhパラメータの実際の値を使用してインラインシミュレーションが可能になる。これは、オフラインシミュレーションに比べて有利である。

【0083】ここでは、プロセス制御手順の他のいくつかの実施態様のフロー図を図8aおよび図8bを参照する。これらの手順は、測定が実施されるプロセス段階ごとに互いに異なっている。

【0084】被覆前測定

基板反射率 R_{sub} は、被覆手順の前に測定される(ステップ103)。測定された反射率は、曝射線量の部分的な制御のため、あるいは後述されるように、追加最適化の自由度を最小限に押さえるために使用できるだろう。

【0085】測定—露光—測定

ウェハは、PR被覆(ステップ98)プロセスおよびそれに適用されるソフト焼成プロセスの後に、関連するパラメータ、 k_0 、 n_0 、および h_0 の測定を受ける(ステップ102)。それから、前記露光—測定手順が、部分曝射線量(ステップ104および105)だけを使用して第1サイトに、または完全曝射線量(ステップ106および107)を使用して第2試験サイトのどちらかに適用される。これらのパラメータの露光後測定値が求められた。それは、 k_1 、 n_1 、 h_1 、 R_1 、および k_2 、 n_2 、 h_2 および R_2 (ステップ108および110)である。「露光前」および「露光後」の測定(ステップ114)を分析することにより、露光ツール3の曝射線量を調整することができる。

【0086】測定および露光ツールの校正

類似した完全露光は、関連するパラメータ k^*_2 、 n^*_2 、 h^*_2 、 R^*_2 の露光後値を求める(ステップ112)のために露光ツール3により試験サイトに適用されてよい(ステップ111)。ステップ106、107、110は、 k_2 、 n_2 、 h_2 、 R_2 を求めるために適用できるだろう。入手される結果は、ステップ111および112の結果に比較されるだろう。ステップ111およびステップ112は、関連するパラメータ k^*_2 、 n^*_2 、 h^*_2 、 R^*_2 の露光後値を求めるために、露光ツール3により試験

サイトに適用することができる同様の完全露光を提示する。2つの異なる完全露光結果の比較は、露光ツールおよび測定ツールにより実施される露光手順の整合に役立つだろう。

【0087】露光のための厚さの損失

ステップ102」および110の結果を比較することにより、露光のための厚さの損失を演繹できるだろう。これは、露口中の厚さの変化による線量制御に役立つだろう。前記制御は、校正手順から求めることができるだろう校正曲線 $h(d)$ から評価されるだろう。

【0088】De-protectionにより誘発される厚さの損失(DITL)

2つの異なる露光後測定の実行分析は、PEBプロセスの後のウェハの厚さの損失の概算を補助する。図8aおよび図8bに示されている別のオプションとは、露光ツール3内でさらに加工され(ステップ116)、測定を受け(ステップ111、112)およびPEBプロセスを受けている(ステップ118)ウェハのオプションである。それ以降、PEB後測定が実行され(ステップ119)、 $k'2$ 、 $n'2$ 、 $h'2$ 、 $R'2$ パラメータは第2試験サイトで求められる(ステップ120)。求められた値は、ステップ111および112から入手される値に比較される。これにより、「露光後測定」のためのベースラインを、化学的に増幅されているレジスト内でのDe-protectionにより誘発される厚さ損失(DITL)の見積りのために作成できるようになる。

【0089】露光チャネルを使用しない手順

図9aおよび図9bを見ると、本発明に従った方法のさらに2つの例が、改めて説明するまでもなく提示されている。これらの例に従って、測定ツール14は、加工(露光)チャネルを必要としないが、加工前に、すなわち図9aの例での被覆手順および露光手順の前に、および図9bの例での露光手順の前だけに、ウェハに関連したパラメータを測定するためだけに動作する。これらのケースでは、測定ツールは、対象品から戻される光の強度の高速かつ正確な測定を提供することができる、任意の適切な種類の分光光度計であってよい。たとえば、このような分光光度計の構成および動作は、本出願の譲受人に譲渡されている米国特許第5,517,312号明細書に開示されているものに類似したものでよい。

【0090】したがって、本発明により、プロセス制御のためのより詳細なセットアップの一部として、PR露光またはPEBのあいだの厚さ変化に影響を及ぼすリソグラフィプロセスを制御するためのベースラインを始動するために使用することができるデータを入手することができる。前記方法から入手されるデータは、他の計測学ツール結果の相関関係、たとえば、臨界寸法の測定用の既知の計測学ツール(たとえば、SEMCD、AFM)の任意の1つに沿ったこの方法のあいだの校正曲線の構築に使用してよい。

【0091】前記を考慮して、本発明の優位点は自明である。それは、各製品ウェハに対し、パターン化露光ツールの中間の(mid-)、近い(near-)、または深い(deep-)UV正確曝射量の決定のための方法および機器を提供する。本発明により、生産におけるフォトリソグラフィーツールの自動的で、高速かつ正確な線量制御が可能になる。そのように設計されている測定装置14が、製品ウェハの測定に基づくクロズドループフィードバック制御を入手するために、フォトリソグラフィーツール装置の内側の測定システムの統合を可能にする。このようなツールの統合は、とりわけウェハ間の厚さの変動、ウェハ厚さ非画一性、レジスト、ARCまたはそれらの下の層での反射率変動に対する高速解答および比較を可能にするだろう。本発明は、揮発性の構成要素の蒸発または酸の損失により引き起こされる厚さ変化の制御を達成するための時間の関数として厚さ測定を可能にする。測定装置14は、露光およびPEBなどの複数のリソグラフィーステップをモニタするための複数の計測学動作を含んでよい。

【0092】本発明は、他のすべてのプロセスおよび/またはツール変数に、いわゆる「情報ベースライン」を提供し、あらゆる初期変動を補正するために使用することができる。たとえば、それは、光学パラメータと厚さの、初期、ソフト焼成前の状態、および最終の焼成後状態のあいだ、初期状態、露光後および最終状態、露光後焼成状態のあいだの差異の測定から入手されるデータを分析することにより、フォトリソグラフィープロセスの制御に備える。露光後状態の状況は、露光ツールの完全名目露光、および露光に続く焼成後手順を適用することにより、システム10、100で容易に達成することができる。本発明は、特殊マスクまたは透明ウェハ、あるいは特殊オフライン試験に対するニーズなしに、Dillパラメータの決定のための直接的な方法も提供する。本発明は、線量補正の既知の計測学ツール結果に対する相互関係が必要とされるたびに使用することができる。本発明は、露光ツールの元の場所での内部構成を必要とせずに、フォトリソグラフィープロセス用露光ステップを制御することの困難さを克服する。

【0093】当業者は、添付請求項の中に、および添付請求項により定められるその範囲から逸脱することなく、これまで例証されてきたように、多くの修正および変更を本発明に適用してよいことを容易に理解するだろう。たとえば、本発明は、露光時間などの露光ツールの他のパラメータを制御するために使用してよい。代わりに、本発明は、加工品を処理するためのそれ以外の加工ツールだけではなく他のフォトリソグラフィーツールの動作を制御するためにも使用されてよい。発明された技法により制御できるだろう加工ツールは、その変動が加工対象の光学的に測定可能なパラメータに影響を及ぼす作業パラメータにより特徴付けられなければならない。これに

より、測定ツールを加エツールの上流に設置し、必要とされるときに、作業パラメータを補正するためのフィードフォワードループを提供できるようにする。

【図面の簡単な説明】

【図1】フォトリソグラフィツールの共通装置のブロック図である。

【図2 a】本発明の一実施態様に従ったシステムの主要構成要素のブロック図である。

【図2 b】本発明の別の実施態様に従ったシステムの主要構成要素のブロック図である。

【図3】図2 aまたは図2 bのどちらかのシステムに適切な測定ツールの主要な構成要素を概略的に示す図である。

【図4 a】図3の測定ツールを用いて入手できるだろう校正曲線の例を図表を用いて示す図である。

【図4 b】図3の測定ツールを用いて入手できるだろう

校正曲線の例を図表を用いて示す図である。

【図5】図4 aおよび図4 bの校正曲線を入力するための方法のフロー図である。

【図6】図5 aから図5 cの方法での適合手順の主要な原則を図表を用いて示す図である。

【図7】本発明の1つの実施態様に従って線量補正方法のフロー図である。

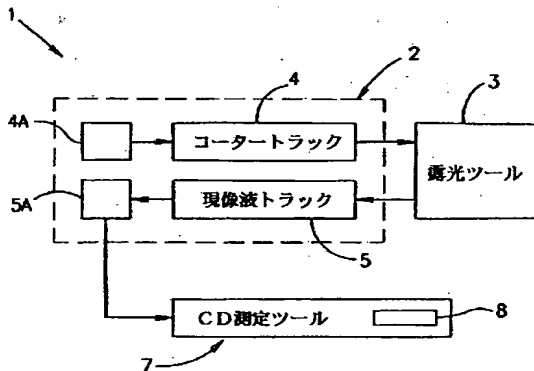
【図8 a】本発明のいくつかの実施態様に従った線量補正方法のフロー図である。

【図8 b】本発明のいくつかの実施態様に従った線量補正方法のフロー図である。

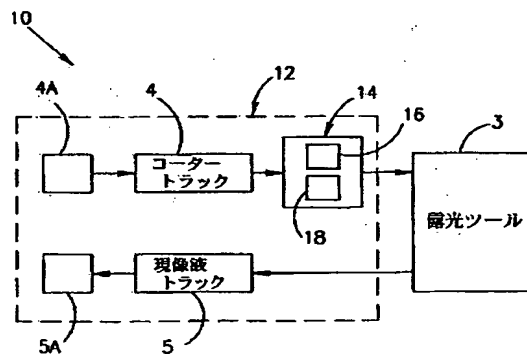
【図9 a】本発明のさらに2つの実施態様の主要な原理を示すフロー図である。

【図9 b】本発明のさらに2つの実施態様の主要な原理を示すフロー図である。

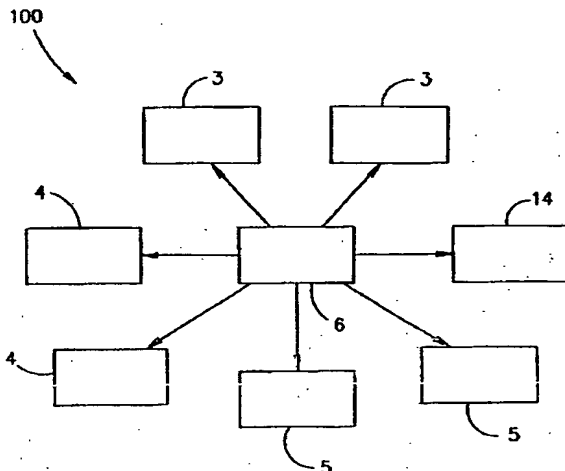
【図1】



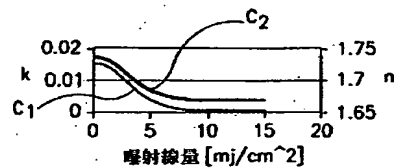
【図2 a】



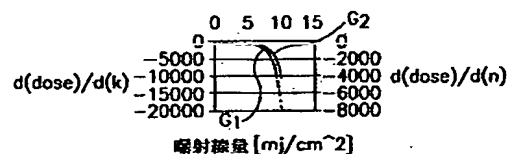
【図2 b】



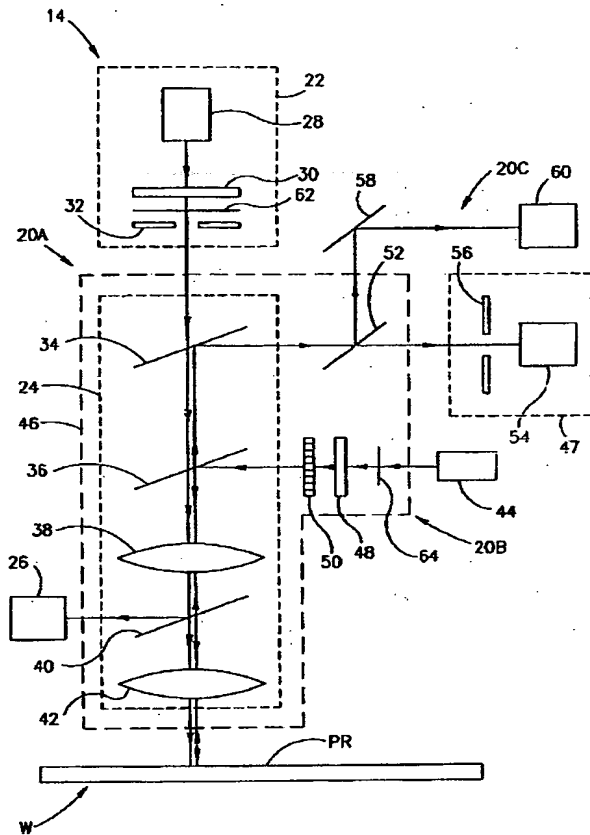
【図4 a】



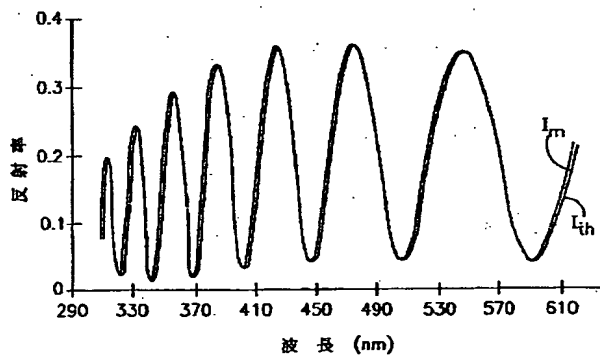
【図4 b】



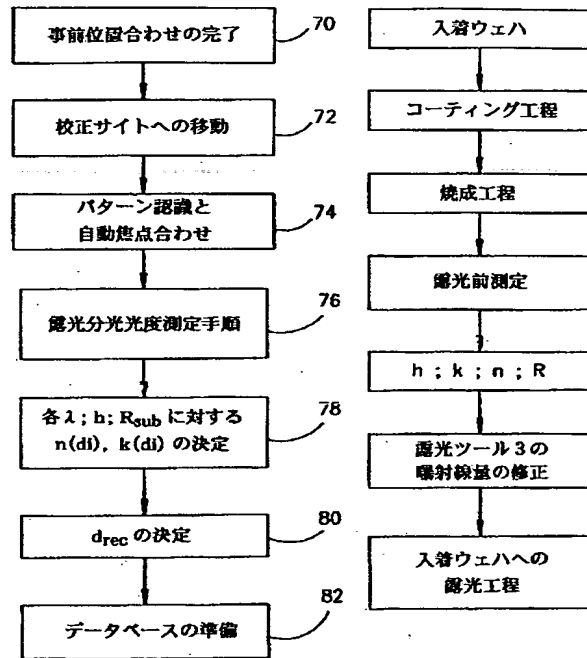
【図3】



【図6】

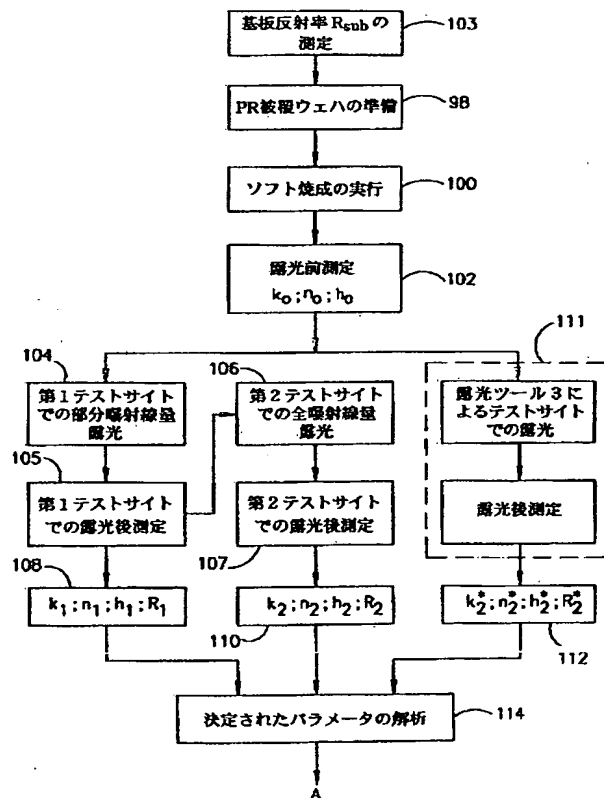


【図5】

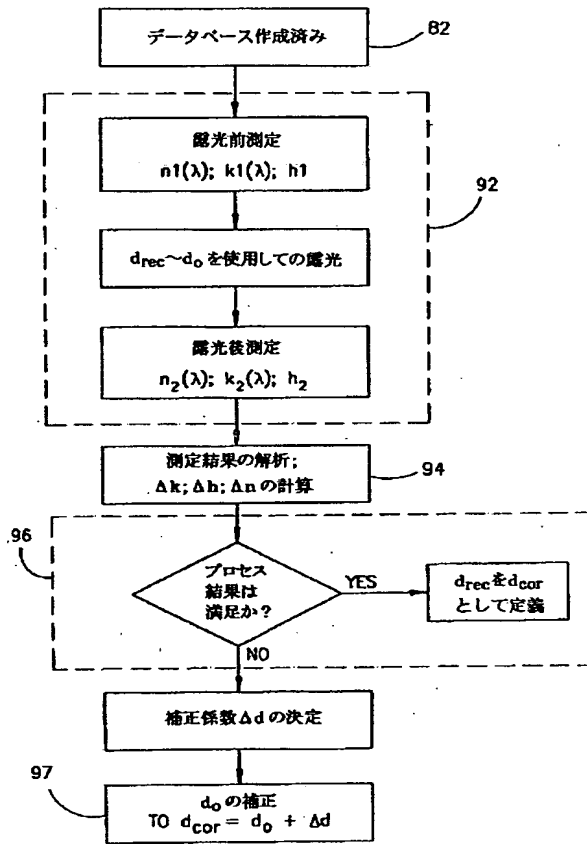


【図9b】

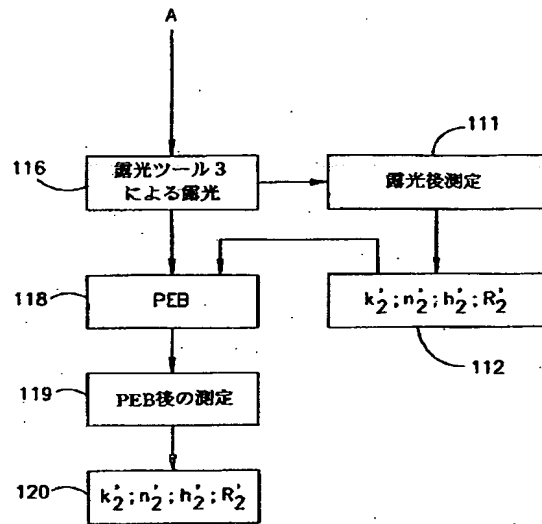
【図8a】



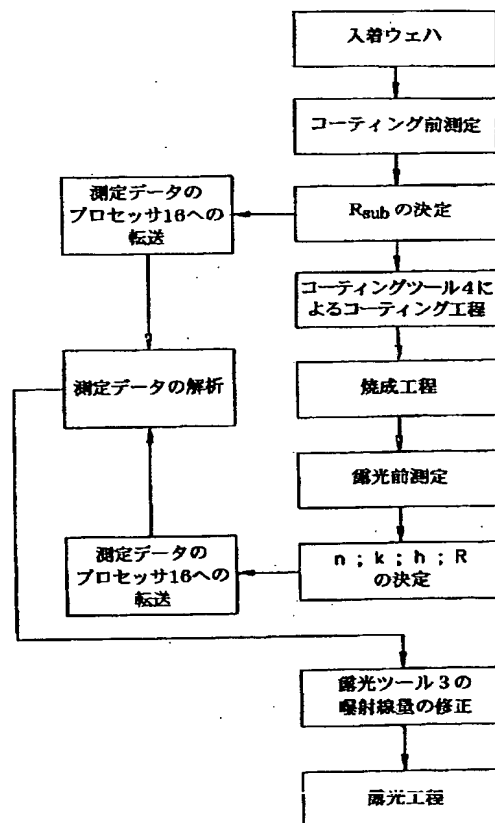
【図7】



【図8b】



【図9a】



【外国語明細書】**1. Title of Invention**

Method and System for Controlling the Photolithography Process

2. Claims

1. A method for automatic optical control of at least one working parameter of a processing tool to be applied to a working area of a workpiece for providing certain process results, said at least one working parameter of the processing tool affecting at least one parameter of the workpiece under processing, wherein the processing tool has a preset value of said at least one working parameter prior to the processing of the workpiece, the method comprising the steps of:

(a) providing a measuring tool to be applied to the workpiece prior to its processing by the processing tool;

(b) applying the measuring tool to the workpiece for:

(c) measuring said at least one parameter of the workpiece and generating measured data representative thereof;

(d) analyzing said measured data with respect to said preset value of the working parameter and to said process results and determining whether said preset value should be corrected for providing said certain process results when applying the processing tool to said workpiece; and

(e) upon detecting that said preset value should be corrected, calculating a correction value and generating data representative thereof.

2. The method according to Claim 1, and also comprising the step of:

- providing reference data representative of at least one calibration curve in the form of said at least one parameter of the workpieces as a function of said at least one working parameter.

3. The method according to Claim 1, and also comprising the step of:

- providing an optical model based on nominal values of certain features of the workpiece for obtaining theoretical data representative of said at least one parameter of the workpiece.

4. The method according to Claim 2, wherein the step of providing said reference data comprises:

- providing an optical model based on nominal values of certain features of the workpiece for obtaining theoretical data representative of said at least one parameter of the workpiece;
- applying the measuring tool to a test area of the workpiece for performing a desired number of test cycles using a different value of the working parameter of the measuring tool for each cycle, the cycle comprising:
 - performing a first measurement of said at least one parameter of the workpiece and generating first measured data;
 - processing at least a portion of the test area similar to the processing of the processing tool, thereby causing changes of said at least one parameter of the workpiece within said at least portion of the test area; and
 - performing a second measurement of said at least one parameter of the processed portion and generating second measured data;
- analyzing the measured data and using said theoretical data for determining said at least one parameter of the workpiece as a function of said working parameter.

5. The method according to Claim 4, wherein the value of the working parameter of the measuring tool is of a preset ratio with said preset value of the working parameter of the processing tool.

6. The method according to Claim 4, and also comprising the step of:

- utilizing said reference data for determining a recommended value of said at least one working parameter.

7. The method according to Claim 3, and also comprising the step of:

- analyzing said theoretical and measured data and optimizing the optical model by correcting the nominal values of said certain features of the workpiece.

8. The method according to Claim 1, wherein said measuring comprises the steps of:

- illuminating at least a portion of the wafer by a predetermined incident radiation; and
- detecting radiation returned from the illuminated area and generating data representative thereof.

9. The method according to Claim 4, wherein each of said first and second measurements comprises the steps of:

- illuminating said at least portion of the test area by a predetermined incident radiation; and
- detecting radiation returned from the illuminated area and generating data representative thereof.

10. The method according to Claim 4, wherein said analyzing of the first and second measurements comprises:

- determining whether a difference between the first and second measured values of said at least one parameter satisfies a predetermined condition.

11. The method according to Claim 10, wherein said predetermined condition is associated with the certain process results to be provided by applying the processing tool to the working area of the workpiece.

12. The method according to Claim 4, wherein said desired number of cycles are applied to corresponding number of spaced-apart portions of the test area.

13. The method according to Claim 1, and also comprising the step of:

- (f) in response to said data representative of the correction value, correcting said preset value of the working parameter of the processing tool to be applied to the working area of the measured workpiece.

14. The method according to Claim 1, wherein the step (b) also comprises:

- (g) processing the measured workpiece within at least a portion of a test area similar to the processing of the processing tool, thereby causing changes of said at least one parameter of the workpiece within said at least portion of the test area; and
- (h) performing an additional measurement of said at least one parameter of the processed portion of the test area and generating additional measured data.

15. The method according to Claim 1, wherein said processing tool is a part of a production line, said workpiece progressing along the production line towards the processing tool through said measuring tool.

16. The method according to Claim 15, wherein said production line is a photolithography arrangement.

17. The method according to Claim 16, wherein said processing tool is an exposure tool.

18. The method according to Claim 16, wherein said processing tool is a coating tool.

19. The method according to Claim 17, wherein said working parameter of the processing tool is the exposure dose.

20. The method according to Claim 1, wherein said at least one parameter of the workpiece is an absorption coefficient.

21. The method according to Claim 1, wherein said at least one parameter of the workpiece is a refraction index.

22. The method according to Claim 1, wherein said at least one parameter of the workpiece is a reflectivity.

23. The method according to Claim 1, wherein said at least one working parameter is a thickness of at least an uppermost layer thereof.

24. The method according to Claim 1, wherein said workpiece is a semiconductor wafer.

25. A method for automatic optical control of at least one working parameter of a processing tool to be applied to a working area of a workpiece for providing certain process results, wherein said processing tool is a part of a photolithography tools arrangement, said at least one working parameter of the processing tool affects at least one parameter of the workpiece under processing, the processing tool has a preset value of said at least one working parameter prior to the processing, the method comprising the steps of:

- providing a measuring tool to be applied to said workpiece prior to its processing by the processing tool;
- applying the measuring tool to said workpiece for:
- measuring said at least one parameter of the workpiece and generating measured data representative thereof;
- analyzing said measured data with respect to said preset value of the working parameter and to said process results for determining whether said preset value should be corrected for providing said process results when applying the processing tool to said workpiece; and
- upon detecting that said preset value should be corrected, calculating a correction value and generating data representative thereof.

26. The method according to Claim 25, wherein said processing tool is an exposure tool.

27. The method according to Claim 26, wherein said at least one working parameter is the exposure dose.

28. The method according to Claim 25, wherein at least one parameter of the workpiece is a reflectivity.

29. The method according to Claim 25, wherein at least one parameter of the workpiece is a refraction index.

30. The method according to Claim 25, wherein at least one parameter of the workpiece is an absorption coefficient.

31. The method according to Claim 25, wherein said at least one parameter of the workpiece is a thickness of at least an uppermost layer thereof.

32. The method according to Claim 25, wherein said workpiece is a semiconductor wafer progressing along a production line.

33. A measuring tool for an automatic optical control of at least one working parameter of a processing tool which is to be applied to a workpiece for processing a working area thereof for providing certain process results, said working parameter affecting at least one parameter of the workpiece under processing, wherein the processing tool has a preset value of said at least one working parameter prior to the processing, the tool comprising:

- (1) a processing channel adapted for processing the workpiece similar to the processing of the processing tool, a ratio between the working parameter of the processing channel and processing tool being of a predetermined value;
- (2) a measurement channel adapted for measuring said at least one parameter of the workpiece and generating measured data representative thereof;

- (3) an actuator associated with said processing channel and said measuring channel for selectively actuating one of them; and
- (4) a processor coupled to said measurement channel, the processor being responsive to said measured data for determining and analyzing said at least one parameter of the workpiece, and calculating a correction value to be applied to the working parameter of the processing tool prior to the processing of the workpiece, so as to obtain said process results when applying the processing tool to said workpiece.

34. The tool according to Claim 33, wherein said processor utilizes a reference data representative of an optical model based on nominal values of certain features of the workpiece, for obtaining theoretical data representative of said at least one parameter of the workpiece.

35. The tool according to Claim 34, wherein said reference data comprises a database representative of at least one calibration curve in the form of said at least one parameter of the workpieces as a function of said at least one working parameter.

36. The tool according to Claim 33, wherein said measurement channel comprises an illumination unit for generating a predetermined incident radiation, an optical arrangement and a detector unit, the optical arrangement directing said incident radiation to a certain area on the workpiece and directing radiation returned from the illuminated area to the detector unit.

37. The tool according to Claim 33, wherein said measurement channel is a spectrophotometer illuminating a certain area of the workpiece by a predetermined incident radiation, detecting radiation returned from the illuminated area and generating data representative of the intensity of the returned radiation as a function of wavelength of said predetermined incident radiation.

38. The tool according to Claim 33, and also comprising an imaging channel including an imaging optics and a sensor, the imaging channel being actuated together with the measurement channel.

39. The tool according to Claim 33, wherein said processor is coupled to the processing tool for transmitting the calculated correction value thereto.

40. The tool according to Claim 33, wherein said processing tool is an exposure tool.

41. The tool according to Claim 40, wherein said exposure tool is a part of a photolithography tools arrangement.

42. The tool according to Claim 40, wherein said at least one working parameter of the processing tool is the exposure dose.

43. The tool according to Claim 33, wherein said at least one parameter of the workpiece is an absorption coefficient of a material formed thereon.

44. The tool according to Claim 33, wherein said at least one parameter of the workpiece is a refraction index of a material formed thereon.

45. The tool according to Claim 33, wherein said at least one parameter of the workpiece is a reflectivity thereof.

46. The tool according to Claim 33, wherein said at least one parameter of the workpiece is a thickness of at least an uppermost layer thereof.

47. The tool according to Claim 33, wherein said workpiece is a semiconductor wafer.

48. A production line having at least one processing tool adapted for processing successive workpieces progressing along the production line so as to provide certain process results, wherein said processing tool has at least one working parameter thereof that affects at least one parameter of

the workpiece under processing, the processing tool having a preset value of said at least one working parameter prior to the processing of said workpieces, the production line comprising a measuring tool installed so as to be applied to an operational workpiece prior to the processing thereof by the processing tool, the measuring tool being adapted for measuring said at least one parameter of the workpiece and determining whether said preset value should be corrected for providing the process results when applying the processing tool to said operational workpiece.

49. The production line according to Claim 48, wherein said at least one processing tool is a part of a photolithography tools arrangement.

50. The production line according to Claim 48, wherein said successive workpieces are semiconductor wafers.

3. Detailed Description of Invention

FIELD OF THE INVENTION

The present invention is in the field of measuring/inspecting techniques and relates to a method and a system for controlling the operation of a processing tool for processing workpieces. The invention is particularly useful in the manufacturing of semiconductor devices to control the operation of photolithography tools to optimize the entire photolithography process.

BACKGROUND OF THE INVENTION

The manufacture of semiconductor devices consists of several procedures applied to a semiconductor wafer to define active and passive elements. The wafer is prepared and one or more layers are deposited thereon. Thereafter, the process of photolithography is performed, in which the surface of a wafer with a pattern conforming to circuit elements is formed. An etching process applied to the uppermost layer follows the photolithography. By desirably repeating these processes, a multi-level semiconductor wafer is produced. Thus, photolithography is one of the main steps in the manufacture of semiconductor devices. It actually consists of the optical image transfer of a pattern from a mask to a semiconductor wafer.

It is a common goal of the semiconductor industry to minimize features on a wafer, namely to make the pattern finer and finer. Owing to the fact that optical systems used for image transfer reach their limitations, the lithography process should meet higher requirements of its operational performance. This means finer process control, as well as the development of new lithography equipment and chemicals. The major steps of the photolithography process are as follows:

- (a) coating a wafer with a photoresist material (PR);
- (b) exposing the PR to UV radiation through a mask in order to produce a latent image of the mask on the PR;
- (c) developing the exposed PR in order to produce the image; and
- (d) measuring and inspecting the wafer.

During the exposure of PR to UV light the PR becomes more or less soluble in a developing solvent, as compared to the unexposed PR, thereby producing a positive or a negative tone image, respectively.

Fig. 1 illustrates a common photolithography tools arrangement, a so-called "link arrangement", generally designated 1, for carrying out the photolithography process. The main idea underlying the implementation of such a link arrangement is that each tool is dedicated to serve the next one in the series, so as to minimize process/tool variations. The link arrangement 1 is composed of two main parts: a phototrack 2 and an exposure tool 3. The phototrack 2 is formed by a coater track 4 and a developer track 5, associated with cassette load/unload stations, designated 4a and 5a, respectively. A robot (not shown) loads the wafer from the cassette station 4a to the coater track 4, and, when the coating procedure is complete, transfers it to the exposure tool 3. Here, the pattern on a mask is aligned with a structure already on the wafer (registration) by an optical means installed inside the exposure tool 3, and the wafer is exposed to electromagnetic radiation through the mask. After exposure, the robot

transfers the wafer to the developer track 5 and then to the cassette station 5a. Additionally, several different baking procedures are implemented during the steps (a) - (c). The coater track 2, exposure tool 3 and developer track 5 are tightly joined together in order to minimize process variability and any potential risk of contamination during photolithography which is a very sensitive process.

The measurement/inspection step is carried out with a metrology tool 7, which is typically a big, stand-alone machine, that serves for the serial critical dimensions (CD) measurement. CD metrology tool 7 measures the width of representative lines, spaces and line/space pairs on the wafer. The operation of a conventional CD metrology tool is based on two main methods: scanning electron microscope (CD SEM) and atomic force microscope (CD AFM). CD measurements typically take place after the developing step. To this end, "developed" wafers are taken out of the link arrangement 1 and transferred to the separate CD station occupied by the tool 7. Data obtained during the CD measurements is analyzed with a processor 8 (which is typically integral with the CD metrology tool), and then a some sort of feedback is provided (e.g. an alarm in case of a width out of the permitted range) and transmitted to a relevant unit in the production line.

The quality of the entire photolithography process is defined by a combination of tolerances for all relevant parameters that can influence the final image transfer. The main parameter that should be controlled (and the easier to be adjusted and compensated) is the exposure dosage, i.e. the amount of energy reaching the PR.

According to one known technique, so-called "send ahead wafer", a pilot wafer is sent through the arrangement 1, namely through the coating-exposure-developing steps, applying a certain recommended exposure dose (and time), and then undergoes CD measurements. The

results of the measurements will be the basis for set-up conditions of the entire lot, or for a correction signal to be applied to the tool 3 prior to the exposure of another wafer in the lot, i.e. a feedback loop. The whole sequence of such a "send ahead wafer" procedure can take many hours, during which valuable time of the production tools is not fully utilized and the wafers' flow is delayed. According to another technique, each lot is the basis for the next lot to run in this process representing a so-called "lot-to-lot control". By considering the results of the previous lot, a small correction can be made. However, a certain increment in the risk exists, because the entire lot may be lost. Both of these techniques are time, labor and materials consuming and usually do not reveal any problematic root.

It is known that the photolithography provides sufficient results at certain levels of PR bleaching. Unfortunately, owing to the fluctuations of scan speed and light intensity, it is very difficult to reproduce each time the optimum exposure dose.

The most popular method used in production for providing a measurement directly correlated with the photoresist lithography image is a so-called "optimal exposure test". According to this method, a wafer coated with a photoresist material is exposed through a mask using a sequence of different dosages. Following the exposure and development steps, the dose is estimated as a function of line width, utilizing the electron microscopy technique. Notwithstanding that this method considers all the relevant operations and materials of the entire photolithography process (i.e. coat, expose, develop, bakes, resist. etc.), it consumes expensive useful time of the exposure equipment.

U.S. Patent No. 5,620,818 discloses a photolithographic dose determination technique, which utilizes diffraction of a latent image grating for constructing a calibration curve. This technique is not compatible with on-line production control, because of the following features. It requires

that a special mask be designed and a special test wafer, having all the relevant stack layers, be created. A large area of a test structure is needed to provide a sufficient signal-to-noise ratio. Additionally, to consider each layer and each resist when constructing the calibration curve, a sequence of gradual exposures of the mask on the wafer should be conducted.

U.S. Patent No. 5,635,285 discloses several methods of determining the correction for exposure. One of them is based on an exposure with a phase shift mask, which suffers from the need of an additional alignment procedure. Another method uses the known FLEX technique for exposures in several focus conditions to overcome the limits of depth of focus (DOF). This method has alignment and magnification error related problems. Yet another method is based on the use of an additional "out of focus illumination". More specifically, additional radiation is added outside the depth of focus and the mask operates as a gray scale regime. Consequently, the method is "mask regime dependent", and therefore should be applied for each mask area, each layer and each product separately.

U.S. Patent No. 4,474,864 discloses a method for dose calculation presenting an initial calculation procedure that relates to the construction of calibration curves for the first exposure set up. This calibration is implemented by the coating and gradual exposure of a few transparent wafers for measuring the absorption resulting from bleaching at a certain single wavelength. However, the method suits a laboratory measurement procedure and not a real time process control since it is time consuming, and requires a long preparation procedure. This method does not consider any simultaneous measurement of thickness and refractive index (only absorption) which may vary during exposure, thereby affecting the absorption. Moreover, this method is based on the assumption that the reflection is negligible, which may actually yield an error. According to this patent disclosure, the deduction of a calibration curve is based on a single

wavelength. This indicates that the measurement values have no statistical averaging that can decrease the error of the measurement itself.

In view of the above, it is evident that existing techniques for exposure dose determination/correction cannot be used as on-line manufacturing steps, and fail to provide high accuracy and automatic analysis and "feed-forward" dose control, rather than "feed-back". The existing methods lead to the waste of wafers and other materials like photoresists and solvents, as well as the waste of costly/ useful time of the photolithographic tool. Hence, they reduce the production rate (i.e. throughput) of the lithographic tools. Additionally, current methods do not allow for accurate and fast determination of the optical parameters of the PR layer, such as an absorption coefficient k and a refraction index n , and therefore do not allow for the direct dosage correction.

SUMMARY OF THE INVENTION

There is accordingly a need in the art to improve the quality of a photolithography process used in the manufacture of semiconductor devices by providing a novel measuring method and system.

It is a major object of the present invention to provide such a method and a system that can be used for controlling parameters of the photolithography tools in production.

There is provided, according to one aspect of the invention, a method for automatic optical control of at least one working parameter of a processing tool to be applied to a working area of a workpiece for providing certain process results, said at least one working parameter of the processing tool affecting at least one parameter of the workpiece under processing, wherein the processing tool has a preset value of said at least one working parameter prior to the processing of the workpiece, the method comprising the steps of:

- (a) providing a measuring tool to be applied to the workpiece prior to its processing by the processing tool;
- (b) applying the measuring tool to the workpiece for:
 - (c) measuring said at least one parameter of the workpiece and generating measured data representative thereof;
 - (d) analyzing said measured data with respect to said preset value of the working parameter and to said process results and determining whether said preset value should be corrected for providing said certain process results when applying the processing tool to said workpiece; and
 - (e) upon detecting that said preset value should be corrected, calculating a correction value and generating data representative thereof.

The main idea of the present invention consists of the following. A workpiece progressing along a production line is to be processed by a processing tool. The working parameter of the processing tool is typically tuned to a preset value. During the processing of the workpiece with the processing tool, the value of this working parameter affects some parameters of the workpiece. The processing is expected to provide certain desired values of these workpieces' parameters (constituting the process results). However, owing to the fact that various procedures were applied to the workpiece before it arrives to the processing tool (which is usually the case considering such a workpiece as a semiconductor wafer progressing on the production line), these procedures may unpredictably influence on the parameters of the workpiece. Consequently, the preset value of the working parameter needs to be corrected so as to meet the requirements of the real before-processing conditions of the specific workpiece and to satisfy the process results. For the purpose, a novel controlling method is proposed. The method consists of measuring the workpiece's parameters before the

processing, and analyzing the same, as well as the preset value of the working parameter and the process results, to determine a correction value to be applied to the preset value for achieving the process results when applying the processing tool to the measured workpiece. This technique of measuring the operational workpiece before its processing and adjusting the processing tool parameter accordingly represents a feed forward closed loop.

Certain reference data is provided and used for performing the measurements and analysis of the measured data. The reference data is representative of at least one calibration curve in the form of the at least one parameter of the workpieces as a function of the at least one working parameter of the processing tool. The reference data also comprises an optical model based on nominal values of certain features of the workpiece for obtaining theoretical data representative of the at least one parameter of the workpiece. The optical model presents theoretical data (mathematical equation) in the form of the intensity radiation as a function of wavelength, wherein the radiation is that returned (reflected) from an illuminated area of the workpiece. The reflected radiation depends on the required parameters of the workpiece in accordance with known physical effects relevant to the specific known kind of workpieces.

If the workpiece to be processed follows a preceding (already processed) workpiece of the same group, (e.g. one or more lot or batches in the case of wafers) the calibration curves are known (already obtained). When dealing with a "new" group of workpieces of the known kind, the calibration curves are prepared with respect to a first-coming workpiece in the group. In order to prepare the at least one calibration curve, a so-called "set-up operations stage" should be performed. This stage consists of applying a desired number of "test cycles" to the operational workpiece within a "test area" thereof. Such a workpiece as wafer is typically formed

with a test area located out of the working (patterned) area and having features similar to the features of the working area.

Preferably, the test cycle consists of before-process measurement, test process and after-process measurement steps, sequentially applied to the test area and being carried out by the measuring tool located as described above. To this end, the measuring tool is adapted for processing the workpiece similar to the processing tool, a ratio between the working parameters of the measuring and processing tools being of a predetermined value. The desired number of such test cycles are performed by small movements to corresponding number of test sites (portions) within the test area using different values of the working parameter of the measuring tool for each cycle, and each time determining the values of the required parameters of the workpiece.

From the calibration curve a recommended value of the working parameter can be determined. It should be noted that the recommended value might be given by a manufacturer. In this case, the calibration curve serves for determining whether this given value satisfies the process results, and, upon detecting that it does not satisfy the process results, for calculating the correction value to be applied to the recommended value. Additionally, during the preparation of the calibration curves, the nominal values of some features of the workpiece could be updated and the optical model so optimized could be further used for measurements.

Each measurement is performed by illuminating at least a portion (test site) within the test area by a predetermined incident radiation spectrum and detecting radiation returned (reflected) from the illuminated area. Measured data so obtained is in the form of the radiation intensity as a function of wavelength. Using a fitting procedure between the measured and theoretical data, the required parameters can be determined and analyzed to generate data representative of the correction value. This data

may be "fed forward" to the processing tool to adjust the value of its working parameter for obtaining the process results for this specific measured workpiece.

Preferably, the workpieces are wafers, the production line being a conventional photolithography arrangement. The working area of the wafer is an area, which is formed or is to be formed with a desired pattern. The processing tool to be controlled is, preferably, an exposure tool, the working parameter to be corrected being the exposure dose. However, in general, the processing tool may be any one of those used in the photolithography arrangement (i.e. coater, developer, etc.). The at least one measured parameter of the workpiece is the wafer's reflectivity (i.e. reflectivity of either a substrate or a photoresist layer on the substrate), PR refraction index, absorption coefficient or thickness.

Thus, according to another aspect of the present invention there is provided a method for automatic optical control of at least one working parameter of a processing tool to be applied to a working area of a workpiece for providing certain process results, wherein said processing tool is a part of a photolithography tools arrangement, said at least one working parameter of the processing tool affects at least one parameter of the workpiece under processing, the processing tool has a preset value of said at least one working parameter prior to the processing, the method comprising the steps of:

- providing a measuring tool to be applied to said workpiece prior to its processing by the processing tool;
- applying the measuring tool to said wafer for:
- measuring said at least one parameter of the wafer and generating measured data representative thereof;
- analyzing said measured data with respect to said preset value of the working parameter and to said process results for determining whether

said preset value should be corrected for providing said process results when applying the processing tool to said wafer; and

- upon detecting that said preset value should be corrected, calculating a correction value and generating data representative thereof.

According to yet another aspect of the present invention, there is provided a measuring tool for an automatic optical control of at least one working parameter of a processing tool which is to be applied to a workpiece for processing a working area thereof for providing certain process results, said working parameter affecting at least one parameter of the workpiece under processing, wherein the processing tool has a preset value of said at least one working parameter prior to the processing, the tool comprising:

- (1) a processing channel adapted for processing the workpiece similar to the processing of the processing tool, a ratio between the working parameter of the processing channel and processing tool being of a predetermined value;
- (2) a measurement channel adapted for measuring said at least one parameter of the workpiece and generating measured data representative thereof;
- (3) an actuator associated with said processing channel and said measuring channel for selectively actuating one of them; and
- (4) a processor coupled to said measurement channel, the processor being responsive to said measured data for determining and analyzing said at least one parameter of the workpiece, and calculating a correction value to be applied to the working parameter of the processing tool prior to the processing of the workpiece, so as to obtain said process results when applying the processing tool to said workpiece.

According to yet another aspect of the present invention, there is provided a production line having at least one processing tool adapted for

processing successive workpieces progressing along the production line so as to provide certain process results, wherein said processing tool has at least one working parameter thereof that affects at least one parameter of the workpiece under processing, the processing tool having a preset value of said at least one working parameter prior to the processing of said workpieces, the production line comprising a measuring tool installed so as to be applied to an operational workpiece prior to the processing thereof by the processing tool, the measuring tool being adapted for measuring said at least one parameter of the workpiece and determining whether said preset value should be corrected for providing the process results when applying the processing tool to said operational workpiece.

More specifically, the present invention is used with a photolithography tools arrangement for controlling the exposure tool parameter and is therefore described below with respect to this application.

BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS:

In order to understand the invention and to see how it may be carried out in practice, a preferred embodiment will now be described, by way of non-limiting example only, with reference to the accompanying drawings, in which:

Fig. 1 is a block diagram of a common arrangement of the photolithography tools;

Fig. 2a is a block diagram of the main components of a system according to one embodiment of the invention;

Fig. 2b is a block diagram of the main components of a system according to another embodiment of the invention;

Fig. 3 schematically illustrates the main components of a measuring tool suitable for the system of either of Fig. 2a or Fig. 2b;

Figs. 4a and 4b graphically illustrate an example of calibration curves that could be obtained with the measuring tool of Fig. 3;

Fig. 5 shows a flow diagram of a method for obtaining the calibration curves of Figs. 4a and 4b;

Fig. 6 graphically illustrates the main principles of a fitting procedure in the method of Figs. 5a-5c;

Fig. 7 shows a flow diagram of a dose correction method according to one embodiment of the invention;

Figs. 8a-8b illustrate flow diagrams of a dose correction method according to some embodiments of the invention;

Figs. 9a and 9b are flow diagrams illustrating the main principles of two more embodiments of the invention, respectively.

DETAILED DESCRIPTION OF THE PRIOR ART AND PREFERRED EMBODIMENTS

Prior Art

Fig. 1 illustrates a conventional photolithography tools arrangement with a wafer flow chart, generally designated 1, comprising coating, exposing and developing tools 4, 3 and 5, respectively, and a robot, which is not specifically shown in Fig. 1. The arrangement 1 is associated with the separate measurement/inspection station occupied by CD measurement tool 7 that is typically equipped by a suitable processor 8 to provide a manual feedback loop for controlling the process and tools parameters. The CD tool 7 is an expensive "stand alone" device which is typically manually loaded/unloaded.

Working Environment of the Present Invention

Link Arrangement

Referring to Fig. 2a, there is illustrated a system, generally designated 10, constructed and operated according to the present invention.

The system 10 presents a photolithography link arrangement with a wafer flow chart generally similar to the conventional arrangement 1, but has some unique features consisting in the provision of a "feed forward" loop. Same reference numbers are used for identifying those components, which are identical in the arrangement 1 and system 10, so as to facilitate the understanding of the main concept of the invention. Thus, a phototrack 12 of the system 10, in addition to the coating, exposing and developing tools, comprises a measuring tool 14 associated with a control unit 16 and the operator's station 18. The control unit 16 is a processor equipped with a suitable image processing utility. The construction and operation of the station 18 do not form a part of the present invention and therefore need not be specifically described, except to note that the station 18 typically includes a personal computer equipped with a data base and a user interface.

Cluster Arrangement

Fig. 2b illustrates a system 100 which presents a photolithography arrangement, so-called "cluster tool", having a somewhat different construction in comparison to that of the link arrangement 10. Similarly, same reference numbers are used to indicate those components that are identical in the systems 10 and 100. Here, a robot 6 is illustrated that transmits each workpiece within the cluster tool 100. Thus, the system 100, in addition to the conventional cluster tool comprises the measuring tool 14.

The Concept of the Measuring Tool

The measuring tool 14 is installed in a manner to be applied to an operational workpiece prior to its arrival to the processing tool to be controlled, e.g. the exposure tool 3. According to the example of Fig. 2a, the measuring tool 14 is installed upstream of the exposure tool 3. In other words, a wafer (not shown) is brought to the measuring tool 14 (by a robot) after PR coating and baking procedures. The wafer, when arriving to the measuring tool 14, is in its ready-to-exposure position being coated by a

certain PR layer. The wafer is on its way to the exposure tool 3, where it should be exposed to a certain dose d_0 of certain UV radiation wavelength λ_0 . The dose and wavelength values d_0 and λ_0 are nominal, tuned ("known") parameters of the exposure tool 3. Further "known" parameters are the substrate reflectivity R_{sub} , and those of the PR layer to be obtained after the exposure procedure with the tool 3, i.e. of the PR layer on the processed wafer ensuing from the exposure tool 3 and progressing to the developer tool 5. As known, any reflectivity signal is composed of specular and diffused components, (R_{spec} and R_{diff}). The PR layer parameters are absorption coefficient k and refraction index n (optical parameters), and thickness h . Thus, the exposure tool 3 is prepared (tuned) for the exposure procedure (i.e. exposure dose d_0) to be applied to expected substrate material and PR layer (i.e. having certain expected optical parameters and thickness), so as to provide the desired, after-exposure values of the following parameters: the substrate reflectivity (i.e. underneath the PR layer) as a function of the wavelength of incident light, $R_{sub}(\lambda)$ (R_{spec} and R_{diff}); $k(\lambda)$; $n(\lambda)$ and h . The desired values of these parameters constitute the expected process results.

However, the wafer W under processing has certain real values of the above parameters, which values may not match the expected ones, owing to the incoming substrate, PR materials and coating tools variations. The measuring tool 14 together with the processor 16 serve for a real time dose correction Δd to be made to the exposure dose d_0 of the exposure tool 3 so as to obtain the desired PR layer parameters, when applied to the real wafer under processing. This real time correction is implemented with the tool 14 before the exposure procedure within the tool 3, presenting thereby a forward control of the exposure process.

The Apparatus

Turning now to Fig. 3, the main components of the measuring tool 14 are more specifically illustrated. The tool 14 is associated with a wafer W progressing along the system 10 to be processed by the exposure tool. The wafer W is located on a stage, which is not specifically shown here, to progressively support the wafer during the measurement. The tool 14 comprises three operational channels, generally at 20a, 20b and 20c, serving, respectively, for exposure, measurement and image acquisition. The measurement channel 20b is a spectrophotometer determining the optical parameters and thickness of the PR layer on the wafer W. Generally, the spectrophotometric and imaging channels 20b and 20c may be of any known kind, for example such as that disclosed in US Patent No. 5,517,312 assigned to the assignee of the present application.

The exposure channel 20a is composed of an illumination unit 22, a light directing unit 24 and a detector unit 26. The illumination unit 22 typically includes a light source 28 for generating UV incident radiation, a monochromatic filter 30 and a pinhole 32. The exposure procedure with the channel 20a utilizes the same wavelength λ_0 as the exposure tool 3. For that reason, the monochromatic filter 30 is appropriately provided. The light directing unit 24 includes beam splitters 34 and 36, a tube lens 38, a beam splitter 40 and an objective lens 42. The latter is driven by a suitable motor, which is not specifically shown, for auto-focusing purposes in a conventional manner. The beam splitter 40 deflects the part of incident radiation to the detector 26 and the other part to the objective lens 42 to be focused onto the wafer W (i.e. its uppermost PR layer). The operational principles of all these optical elements are known *per se*.

The measurement channel 20b comprises a light source 44 generating incident light, an optical arrangement 46 and a detector unit 47. It should be noted that the light source 44 may be an external radiation

source with respect to the entire tool 14, provided the source 44 is associated with a suitable light directing optics for directing light into the tool 14. The optical arrangement 46 operates in both the pattern recognition and measurement modes. The optical arrangement 46 includes a filter 48, a grid array 50, the light directing unit 24, and an additional beam splitter 52. The filter 48 is designed to cut off the UV radiation, and is appropriately driven by an actuator (not shown) to be displaceable between its operational and non-operational positions, being, respectively, in and out of the optical path of light passing through the channel 20b. The operational and non-operational positions of the filter 48 correspond to the pattern recognition and measurement modes of the optical arrangement 46, respectively. The detector unit 47 comprises a spectrophotometer sensor 54 and a pinhole 56. The grid array 50 typically facilitates the image focusing. The pinhole 56 is typically employed for eliminating the exposure area edge effects. It should be noted that the objective lens 42, together with the beam splitter 40 and detector unit 26, are preferably mounted on a movable optical head (not shown) for movement along the X, Y, Z axes. In this case, light beams are directed to and from the optical head by means of additional mirrors. This technique is disclosed in the above indicated U.S. Patent No. 5,517,312.

The imaging channel 20c is formed by the path of the spectrophotometric channel between the wafer W and the splitting mirror 52, and by an optical mirror 58 and a CCD camera 60. The CCD camera 60 receives the full image including the projected grids for autofocusing purposes.

Further provided are shutters 62 and 64 (constituting an actuator) installed, respectively, in the exposure channel 20a and measuring channel 20b. The shutters so provided allow for selectively actuating either the

exposure or measurement channel. Consequently, the imaging channel 20c is involved, once the measurement channel 20b is actuated.

The Measuring Tool Operation

The main mode of the tool operation includes the first spectrophotometric measurement of a predetermined site of the PR layer, probe exposure of that site with a dose and wavelength equivalent to the exposure tool dose and wavelength, the second spectrophotometric measurement of the same site, and then the calculation of the exposure dose correction.

Probe Exposure

The exposure channel 20a performs a probe exposure procedure, which is generally similar to that of the exposure tool 3 using the same wavelength λ_0 . The probe exposure, however, is carried out on test sites (not shown) typically located outside the patterned area (die area) of the wafer W, for example within a scribe line, and uses a certain predetermined exposure dose d_i ; equivalent to the nominal (known) dose d_0 of the exposure tool 3.

The probe exposure dose d_i does not have to be the exact nominal exposure tool dose d_0 for certain mask or product, but the ratio between them should be set. This is implemented either by carrying out a correlation to CD results for the first time, or by using a known data on the nominal exposure. Thus, the measuring tool 14 uses the proportionality ratio between the probe exposure dose d_i and the exposure tool dose d_0 to determine the exact correction Δd to be applied to the exposure tool dose d_0 for proper exposure of the real wafer under processing.

The test site should be a clear area similar to that in the die area that has the same stack of the resist and the underlying layers. The site area must be inside a clear mask area of a mask used in the exposure tool 3.

Practically, the wafer area of about 50x50 micron satisfies the mask-related and signal-to-noise requirements.

Spectral Reflectance Measurement

During the operation of the channel 20b, the incident light passes through the light directing optics 46 and impinges onto the wafer W, producing reflected light that propagates in a backward direction through the light directing optics 24 up to the beam splitter 34. Light propagation is shown here schematically so as to facilitate the illustration of the main components and operational principles of the measuring unit 14. The latter directs the reflected light towards the detector unit 47. The beam splitter 52 transmits the part of the reflected light to the spectrophotometric sensor 54, and reflects the other part of the reflected light to the imaging channel 20c. The operation of the spectrophotometric channel 20b is aimed at determining the optical parameters (absorption coefficient k and refraction index n), substrate reflectivity R_{sb} , and thickness h of the PR layer on the wafer W. The spectrophotometric sensor 54 receives the light reflected from the PR layer and generates measured data representative thereof. The measured data is in the form of the substrate or/and PR reflectivity I_m as a function of the light wavelength λ , i.e. $I_m(\lambda)$.

Measured Data Analysis

The processor 16 is responsive to the measured data $I_m(\lambda)$ for calculating the above parameters R_{sb} , k , n and h . To this end, the processor 16 is preprogrammed for running a predetermined optical model (constituting reference data) based on the nominal values of certain optical model factors. These factors are defined by known physical laws describing the light reflection from a multi-layer stack of a kind similar to the stack under processing, and, optionally, the kinetics of a photo-active compound (PAC) when exposed to UV radiation. The spectrum analysis procedure will be described in more detail further below.

The exposure of a PR to UV light results in chemical changes (e.g., different solubility) and variation of the optical properties of the PR, namely its absorption and refraction. PR materials are typically characterized by bleaching effect which is a major factor affecting the optical absorption. The kinetics of PAC exposure is typically defined by Lambert's law of absorption coupled with Beer's law. This technique uses three photoresist parameters ABC (or Dill parameters), wherein A and B are the bleachable and non-bleachable absorption coefficients, respectively, and C is the standard exposure rate constant. Dill parameters play an important role in the CD evaluation and simulation of the lithography process, and can be determined by utilizing known off-line and inconvenient technique for measuring a transmitted intensity of a resist through a photoresist and quartz substrate covered with anti-reflection coating (ARC) on its back side. In the optical model of the reflection from a multi-layer stack (i.e. wafer) Dill mathematical equations could be used, being based on theoretical data representative of the PR reflectivity as a function of wavelength, $I_{\text{R}}(\lambda)$. Since Dill parameters describe the exposure effect of PR chemical and optical properties, these mathematical equations could be used to understand the reflectivity from the PR layer at each dose level.

According to the present invention, there is no need for prior knowledge of the ABC parameters of the PR. One of the preferred embodiments of the invention presents the calculation of these parameters in a fast and accurate way from calibration curves, when applying the values of exposure time and determining measured data of the PR reflectivity as a function of wavelength $I_{\text{R}}(\lambda)$. Then, the kinetics of the PAC exposed to UV radiation can be accurately described. The optical model using corrected (updated) PR parameters could be calculated, and Dill parameters ABC could be updated. This technique can also serve for optimizing the optical model for PR characterization in a fast and in-line mode. Once the corrected

ABC are determined, a routine test of matching the calculated theoretical data $I_{th}(\lambda)$ to the measured data $I_m(\lambda)$ could be presented as an additional characteristic for each measurement. What can actually be retrieved from a calibration curve, is an empiric technique to obtain the exact optical parameter response to the dose radiation. Hence, the dose control via the optical parameter response can be directly carried out

To achieve accurate exposure and to ensure that the repeatable dose can be given to the resist, a good auto-focusing mechanism should be integrated into the system 10. The requirements for focus precision should be better than the depth of focus of the lithographic process being used. This means that, for today's state of the art applications, a focus precision level of less than $1\mu\text{m}$ is needed. For a focus target any high contrast pattern can be used, as long as this target is close to the exposure location and smaller than the field of view. The auto-focusing method itself may employ any suitable known technique, for example that disclosed in the above US Patent No. 5604344.

Calibration Procedure

General

The measurement unit 14 operates in the following manner. A first operational stage of the unit 14 consists of the creation of a database for the specific PR layer, which is to be currently exposed. More specifically, the previously provided optical model is optimized and calibration curves (constituting reference data) are prepared based on the real PR material, substrate reflectivity R_{sub} and nominal thickness. It is assumed that the effect of a possible change in the nominal values of h and R_{sub} is supposed to be small so as not to cause substantial changes in the calibration curve.

The calibration curves present the probe exposure dose variations affecting the optical parameters k and n . Figs. 4a and 4b illustrate four graphs C_1 and C_2 , and G_1 and G_2 representing, respectively, the PR optical

parameters as functions of the exposure dose, i.e. $k(d_i)$ and $n(d_i)$, and the exposure dose changes with the changes of the optical parameters as functions of dose, i.e. $\partial d/\partial k(d)$ and $\partial d/\partial n(d)$.

If changes in thickness and substrate reflectivity are detected (i.e. measured), one can calculate the compensation that is needed for the exposure dose by using the ratio of the reflection with the current values of thickness and substrate reflectivity to the known reflection from the nominal values of thickness and substrate reflectivity.

Calibration Curves Determination

Fig. 5 illustrates the main steps of the first operational stage, i.e. set-up operations. Initially, a so-called "pre-alignment" (or registration) procedure is performed in a conventional manner being applied to a first coming wafer from the wafer stack to be processed, i.e. a pilot wafer (step 70). Then, the pilot wafer (or corresponding optics of the measurement channel 20b) is moved to a predetermined test site position, so-called "calibration site" (step 72). Here, the site pattern recognition and auto-focus correction procedures are implemented with the imaging channel 20c (step 74). For the purpose, the shutters 62 and 64 are in their non-operative and operative positions, respectively, so as to block the exposure channel 20a and actuate the measurement channel 20b. As to the filter 48, it is in its operational position, namely in the optical path of light propagating through the channel 20b. Thereafter, a certain exposure-spectrophotometric scheme is applied (step 76). This procedure consists of the following.

The filter 48 is shifted into its non-operational position, being out of the optical path of light passing through the channel 20b. In other words, the channel 20b is switched to the measurement mode. The PR reflectivity as a function of wavelength, i.e. $I_m(\lambda)$, is measured and optical parameters $R_{sub}(\lambda)$, $n(\lambda)$, $k(\lambda)$ and thickness h of the PR layer are calculated, using the optical model optionally based on the nominal values of Dill parameters.

Then, the shutters 62 and 64, respectively, open and close the exposure and measurement channels 20a and 20b, and the probe exposure is applied using a predetermined exposure dose d_i proportional to the exposure tool nominal dose d_0 . Thereafter, the shutters 62 and 64 are operated to, respectively, block the exposure channel 20a and actuate the measurement channel 20b, and "after-exposure" measurement is carried out to obtain measured data $I'_m(\lambda)$ and to calculate the parameters $k'_i(\lambda)$, $n'_i(\lambda)$, thickness h' , and reflectivity R'_{sub} . The "calibration site" actually comprises an array of m test sites. By movements (which are optionally small) from site to site within this array and executing the above scheme at m different exposure doses, the calibration curves $k(d)$ and $n(d)$ are obtained (step 78). From the calibration curves, a recommended exposure dose d_{rec} is determined (step 80). The recommended dose d_{rec} is a dose value at which each of the calculated parameters k , n , R_{sub} and h is equivalent to a corresponding one of the desired parameters to be obtained by the exposure procedure with the exposure tool 3. Thus, the data base associated with this specific PR coating is provided (step 82). This data base comprises the PR optical parameters and thickness as functions of dose (i.e. $k(d)$; $n(d)$; $h(d)$) with respect to a certain substrate reflectivity R_{sub} . It should be noted that, if a certain nominal dose is given by end user, and the above steps associated with the determination of the recommended dose could be eliminated. In this case, the nominal dose value serves as the recommended dose to be analyzed through measurements and corrected, if required.

At this stage, namely for this recommended dose value d_{rec} of the exposure tool 3, the optical model could be optimized by performing a fitting procedure between the measured data $I'_m(\lambda)$ and the corresponding theoretical data $I_b(\lambda)$. As indicated above, the theoretical data is obtained using certain optical model factors. These factors are adjustable to satisfy a

certain condition, which is typically in the form of a merit function defining a so-called "goodness of fit" between the measured data and theoretical data.

Measurement Procedure and Exposure Control

The measurement procedure consists of the determination of all the parameters affecting the exposure dose, namely: the substrate reflectance, PR thickness and PR optical parameters. Fig. 6 illustrates two graphs I_m and I_{th} representing the PR reflectivity as a function of wavelength, obtained through the measurement and optical model, respectively. By varying (fitting) the values of PR parameters h , n , k and R_{sub} , the sufficient goodness of fit could be obtained. By doing this, the optical model factors are updated and the optical model optimized.

The substrate reflectance contribution to the exposure dose could be calculated by two basic techniques:

- (1) an additional measurement of the site before the PR coating, by the spectrophotometric channel;
- (2) concurrently calculating the substrate reflectivity R_{sub} and PR parameters from the measured data I_m .

In both cases, the effect of substrate reflectivity fluctuation from the nominal reflectivity value can be deduced and taken into consideration.

If the calculation show that the recommended dose value does not provide the process results, i.e. the desired values of the PR parameters, the operation is moved to a further test site, so-called "measurement site", and a further operational stage is carried out for determining the correction which is to be applied to the recommended exposure dose d_{rec} . The main steps of this operational stage are illustrated in a self-explanatory manner in Fig. 7.

As described above, the set-up operations result in the provision of a database associated with this specific PR coating is provided (step 82). Thereafter, the measure-exposure-measure scheme is performed one time

using the recommended exposure dose d_{rec} and the exposure tool wavelength λ_0 (step 92). Each of the before-exposure PR parameters $k_1(\lambda)$, $n_1(\lambda)$, h_1 and after-exposure PR parameters $k_2(\lambda)$, $n_2(\lambda)$, h_2 is separately obtained. The corresponding parameters are compared, so as to determine the differences between them, that is Δk , Δn and Δh (step 94). This enables to detect whether or not the recommended exposure dose d_{rec} needs to be corrected (step 96). If so, the corrected exposure dose d_{cor} is calculated in the following manner:

$$d_{cor} = d_{rec} + \Delta d$$

Here, Δd is a function of Δh , Δk , Δn , δR_{sub} that is $\Delta d = f(\Delta k, \Delta n, \Delta h, \delta R_{sub})$ or, more specifically:

$$\Delta d = (k_c - k_m) \cdot \left(\frac{\partial d}{\partial k} \right)_c + \varepsilon_{R_{sub}}$$

wherein k_c and k_m are the values of the absorption coefficient obtained from the calibration curve and through measurement, respectively; $(\partial d / \partial k)_c$ is a slope value corresponding to the dose for the "calibration" absorption coefficient; $\varepsilon_{R_{sub}}$ is the dose change due to the absolute reflectivity level of the substrate, including all the layers in the stack, at the exposure wavelength. When the ratio $\delta R_{sub} / R_{sub}$ satisfies the following condition:

$$\frac{\delta R_{sub}}{R_{sub}} \ll 1$$

then for the dose change we have:

$$\varepsilon \approx -\alpha \cdot \delta R_{mb}$$

wherein $\alpha = \text{Const}$ for a certain PR.

It should be noted that the measurement (second) stage could include more than one measurement-exposure-measurement cycle. In other words, the predetermined parameters could be retrieved by applying more than one partial dose, rather than one nominal dose.

To more clearly illustrate the above-described unique features of the present invention, let us consider the following example for the exposure control.

EXAMPLE:

In this example, $\delta R = 0$, $\Delta h = 0$. Turning back to Figs. 4a and 4b, the calibration curves are obtained. In other words, the relevant data base is already created as described above. The recommended exposure dose is as follows:

$$d_{\text{rec}} = 4 \text{ mJ/cm}^2$$

The calibration curves C_1 and G_1 show that for this dose value we have:

$$k_c = 0.006417; \quad (\partial d / \partial k)_c = -375.37$$

Considering the typical case that a dose correction is needed, the second operational stage is performed, i.e. the exposure with the recommended exposure dose is applied to the measurement site, and the measured (calculated) data for the absorption coefficient is determined to be:

$$k_m = 0.005636$$

As seen in the calibration curves C_1 and G_1 , for the measured value k_m of the absorption coefficient, we have:

$$d_m \approx 4.5 \text{ mJ/cm}^2 \quad (\partial d / \partial k)_m = -393.3$$

Using the above equation for the corrected dose value, we have:

$$\Delta d = \frac{1}{2}(0.006417 - 0.005636) \cdot (-375.37 - 393.3)$$

$$\Delta d = (-0.3) \text{ mJ / cm}^2$$

Hence, in order to obtain the desired value of the PR bleaching, the exposure dose of the exposure tool 3 should be decreased by 7.5%. In this specific example, the complete sequence of dose correction is implemented with respect to k-calibration curves. The similar procedure may be done for the n- calibration curves.

Process Control Applications

The processor 16 determines the correction value Δd and generates data representative thereof. This data is transmitted to the respective utility of the exposure tool 3 either directly or through a special host facility (not shown). This technique actually represents the correction signal detection and "feed forward" to the exposure tool 3.

It should be specifically noted that the above-described scheme of a fast accurate and automatic measurements aimed at determining the proper dose for exposure tool 3 can be applied also to different kinds of features like test structures, patterns and specially designed marks on the wafer.

Additionally, the above-described method of fast, accurate and automatic measurement could be used for the entire process control. Indeed, the method allows for comparing and estimating the parameters of any radiation-sensitive material, including liquid and solid ARC, on any substrate. The measurement could be performed across the wafer, in a wafer to wafer, lot to lot or batch to batch fashion. The measuring unit 14 could be installed as a part of any photolithography tools arrangement, such as "link" or "cluster". By means of the above-described operation applied to each wafer, the trend between wafer to wafer could be determined to give feedback corrections to the amount of exposure that is needed to overcome

any fluctuations which have a "pre-exposure origin", for example PR photosensitivity. It is known that finally obtained CD may be compensated by various parameters. In this connection, the variability of the parameters k , n , and h , that will be found during the measurements, can be compensated by these parameters. Several feedback options can be done for closing the loop and correcting for the variability of k , n , h or R_{sub} parameters of PR.

The provision of the measuring tool 14 enables to obtain such data whose processing allows for establishing an in-line or off-line closed loop control for coating parameters, such as spin speed, humidity, temperature, exhaust, etc. Additionally, the measuring tool could be employed for in-line or off-line closed loop control of the developing process parameters, for example the develop time, post exposure bake (PEB) time, PEB temperature.

It should also be noted, that the calibration curves so obtained provide for the fast, accurate and automatic in-line determination of the ABC parameters (i.e. Dill parameters). Indeed, by a series of partial exposures the total PR bleaching can be achieved. From the fitting to the initial "before-exposure" reflectivity spectrum and from the fitting to the final reflectivity spectrum the initial absorption and final absorption could be determined, the difference between them representing the first Dill parameter A.

The above-described technique enables the exposure dose for any location on the wafer to be in-line predicted, using the in-line determination of ABC parameters. This allows for predicting the CD values and for in-line simulation using the actual values for R_{sub} , ABC, n , k , and h parameters, which is advantageous, as compared to any off-line simulation.

Reference is now made to Figs. 8a-8b illustrating flow diagrams of some other embodiments of the process control procedures. These

procedures differ from each other by the process stage at which measurement is conducted.

Before Coating Measurement

The substrate reflectivity R_{sub} is measured prior to the coating procedure (step 103). The measured reflectivity could be used for partial control of the exposure dose or for minimizing the freedom degrees of further optimization, as will be described below.

Measurement-Exposure-Measurement

A wafer, after the PR coating (step 98) and soft-bake processes (step 100) applied thereto, undergoes the measurement of the relevant parameters: k_0 , n_0 and h_0 (step 102). Then, the above exposure-measurement scheme is applied either to the first site only using the partial exposure dose (steps 104 and 105) or to the second test site using the full exposure dose (steps 106 and 107). After-exposure values of these parameters are determined, that is k_1 , n_1 , h_1 , R_1 and k_2 , n_2 , h_2 , R_2 (steps 108 and 110). By analyzing the "before-exposure" and "after-exposure" measurements (step 114), the exposure dose of the exposure tool 3 may be adjusted.

Calibration of the Measurement and Exposure Tools

A similar full exposure may be applied to a test site by the exposure tool 3 (step 111) for determining after-exposure values of the relevant parameters k^*_2 , n^*_2 , h^*_2 , R^*_2 (step 112). Steps 106, 107, 110 could be applied for determining k_2 , n_2 , h_2 , R_2 . The obtained results would be compared to the results of the steps 111 and 112. Steps 111 and 112 present the similar full exposure that can be applied to the test site by the exposure tool 3 for determining after-exposure values of the relevant parameters k^*_2 , n^*_2 , h^*_2 , R^*_2 . Comparison between two different full exposure results could serve for matching of the exposure procedures conducted by the exposure tool and the measuring tool.

Thickness Loss Due to the Exposure

By comparing the results of steps 102 and 110, thickness loss due to exposure could be deduced. This could serve for dose control via thickness change during exposure. The aforementioned control will be evaluated from the calibration curve $h(d)$ that could be determined from the calibration procedure.

De-protection Induced Thickness Loss (DITL)

An additional analysis of the two different after-exposure measurements assists in the estimation of a thickness loss of the wafer after the PEB process. Another option shown in Figs. 8a-8b is that of the wafer being further processed within the exposure tool 3 (step 116), undergoing measurement (steps 111, 112) and undergoing PEB process (step 118). Thereafter, the after-PEB measurement is performed (step 119) and k'_2 , n'_2 , h'_2 , R'_2 parameters are determined at the second test site (step 120). The determined values are compared to those obtained from steps 111 and 112. This enables a baseline for "after expose measurements" to be created for the estimation of De-protection Induced Thickness Loss (DITL) in chemically amplified resists.

Procedures Without the Use of Exposure Channel

Turning now to Figs. 9a and 9b, two more examples of a method according to the invention are presented in a self-explanatory manner. According to these examples, the measuring tool 14 does not need any processing (exposure) channel, but operates only for measuring the relevant parameters of the wafer prior to the processing, namely prior to the coating and exposure procedures in the example of Fig. 9a and prior to the exposure procedure only in the example in Fig. 9b. In these cases, the measuring tool may be a spectrophotometer of any suitable kind, capable of providing fast and accurate measurements of the intensity of light returned from an article. For example, the construction and operation of such a spectrophotometer

may be similar to that disclosed in U.S. Patent No. 5,517,312 assigned to the assignee of the present application.

Thus, the present invention enables to obtain data that can be used to initiate a base line for controlling the lithography process affecting thickness changes during the PR exposure or PEB, as a part of more elaborate setup for process control. Data obtained from the above method may be used for the correlation of other metrology tools results, for example construction of a calibration curve between this method to any one of the known metrology tools for measurement of critical dimensions. (e.g. SEMCD, AFM).

In view of the above, the advantages of the present invention are self-evident. It provides a method and apparatus for determining the mid-, near- or deep UV accurate exposure dose of a patterning exposure tool, for every product wafer. The invention allows for automatic, fast and accurate dose controlling of the photolithographic tools in production. The measuring unit 14 so designed enables the integration of a measurement system inside a photolithographic tools arrangement in order to obtain a closed loop feed forward control based on measuring production wafers. The integration of such a tool will enable, among other things, a fast response and comparison for wafer to wafer thickness variations, wafer thickness non-uniformity, reflectance variations in the resist, ARC or layers below them. The invention allows for thickness measurement as a function of time to achieve the control of thickness changes caused by volatile component evaporation or acid loss. The measuring unit 14 may include several metrology operations for monitoring several lithography steps, like exposure and PEB.

The present invention provides a so-called "information baseline for all other process and/or tools variables and can be used for compensating any initial fluctuations. For example, it provides for controlling a photolithography process by analyzing data obtained from measurements of

the differences in the optical parameters and thickness between the initial, pre-soft-bake state and final, after-exposure states; the initial, after-exposure and final, after-post-exposure-bake states. The situation of after-expose state can be easily achieved with the systems 10, 100 by applying the full nominal exposure of the exposure tool and after the bake procedure that follows the exposure. The invention also provides a direct method for determination of the Dill parameters without any need for special mask or transparent wafer, or special off-line tests. The present invention can be used each time the correlation of the dose correction to the known metrology tool results is required. The present invention overcomes the difficulties of controlling the exposure step for photolithographic process, without any need for an in situ internal calibration of the exposure tools or previous "off line" measurement of the resist parameters.

Those skilled in the art will readily appreciate that many modifications and changes may be applied to the invention as hereinbefore exemplified without departing from its scope defined in and by the appended claims. For example, the present invention may be used for controlling other parameters of the exposure tool, e.g. the exposure time. Alternatively, the present invention may be used for controlling the operation of other photolithography tools, as well as of any other processing tool for processing workpieces. The processing tool that could be controlled by the invented technique should be characterized by a working parameter whose variations affect the optically measurable parameters of the workpiece. This enables the measuring tool to be installed upstream of the processing tool and provide feed forward loop for correcting the working parameter when required.

4. Brief Description of Drawings

Fig. 1 is a block diagram of a common arrangement of the photolithography tools;

Fig. 2a is a block diagram of the main components of a system according to one embodiment of the invention;

Fig. 2b is a block diagram of the main components of a system according to another embodiment of the invention;

Fig. 3 schematically illustrates the main components of a measuring tool suitable for the system of either of Fig. 2a or Fig. 2b;

Fig. 4a graphically illustrates an example of calibration curves that could be obtained with the measuring tool of Fig. 3;

Fig. 4b graphically illustrates an example of calibration curves that could be obtained with the measuring tool of Fig. 3;

Fig. 5 shows a flow diagram of a method for obtaining the calibration curves of Figs. 4a and 4b;

Fig. 6 graphically illustrates the main principles of a fitting procedure in the method of Figs. 5a-5c;

Fig. 7 shows a flow diagram of a dose correction method according to one embodiment of the invention;

Fig. 8a illustrates a flow diagram of a dose correction method according to some embodiments of the invention;

Fig. 8b illustrates a flow diagram of a dose correction method according to some embodiments of the invention;

Fig. 9a is a flow diagram illustrating the main principles of two more embodiments of the invention; and

Fig. 9b is a flow diagram illustrating the main principles of two more embodiments of the invention.

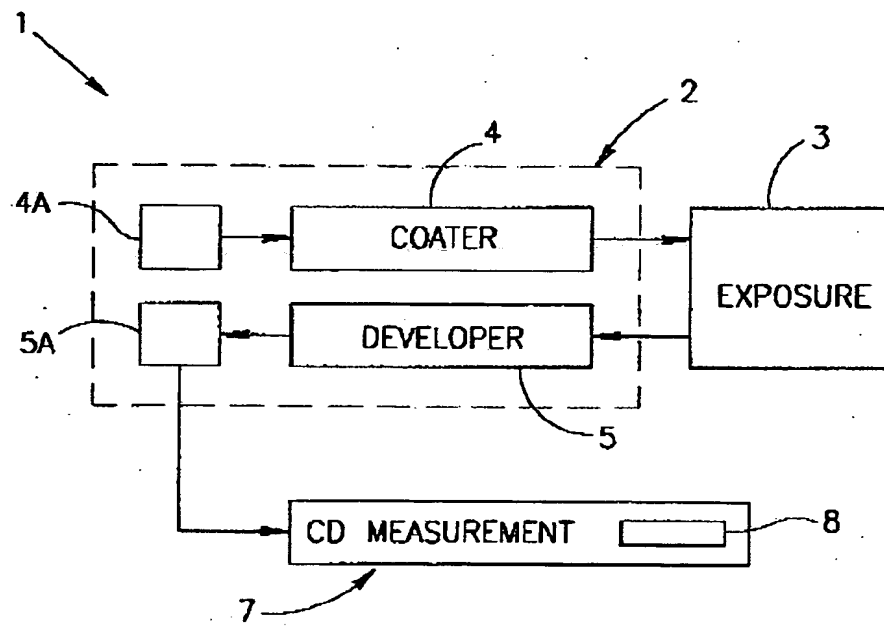


FIG. 1

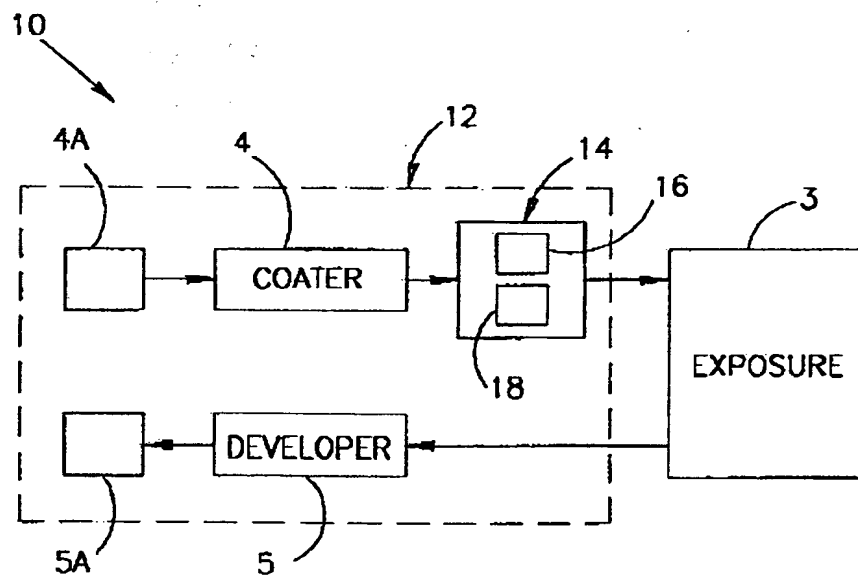


FIG. 2a

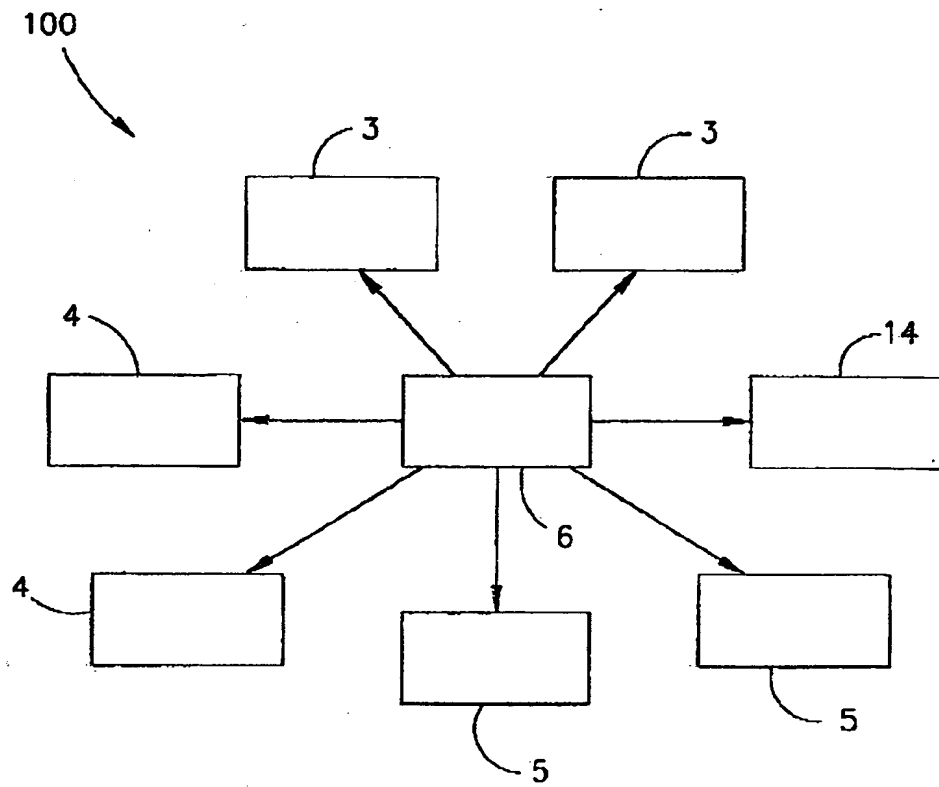


FIG.2b

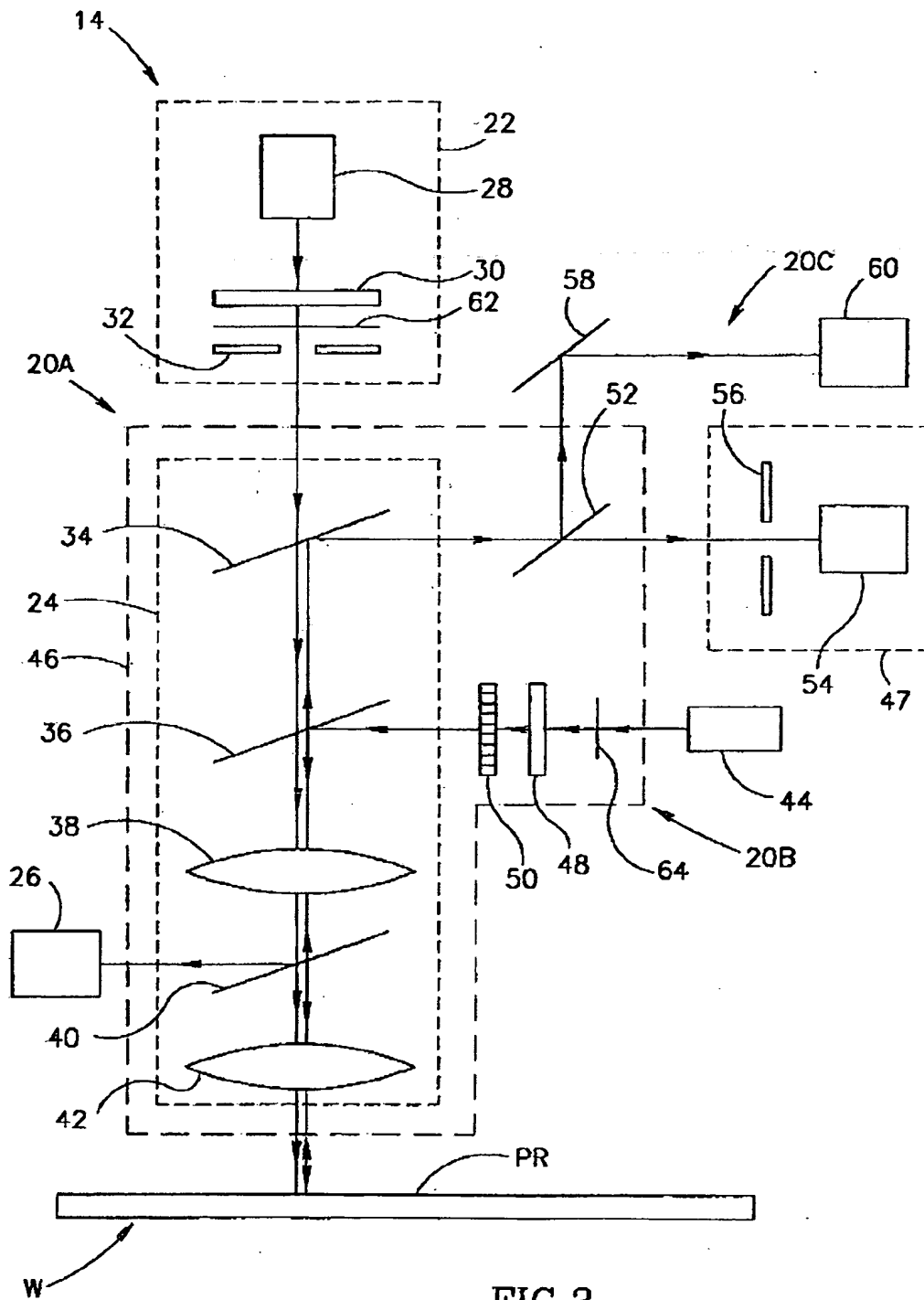


FIG.3

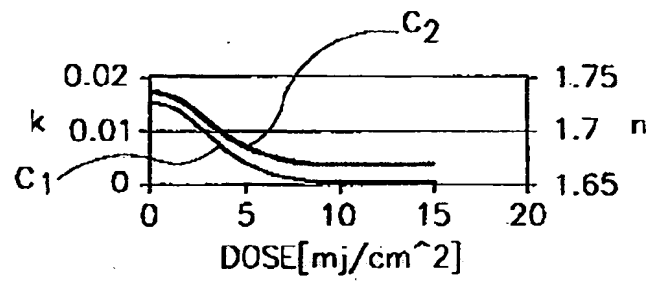


FIG.4a

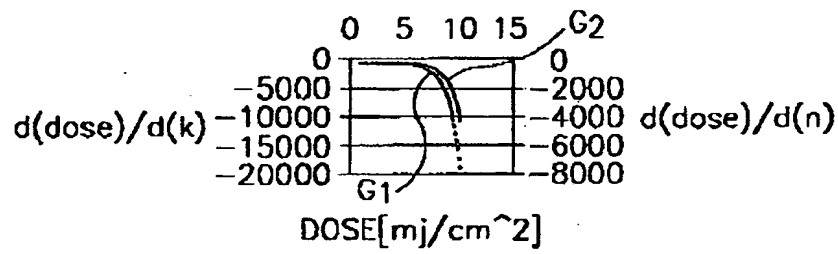


FIG.4b

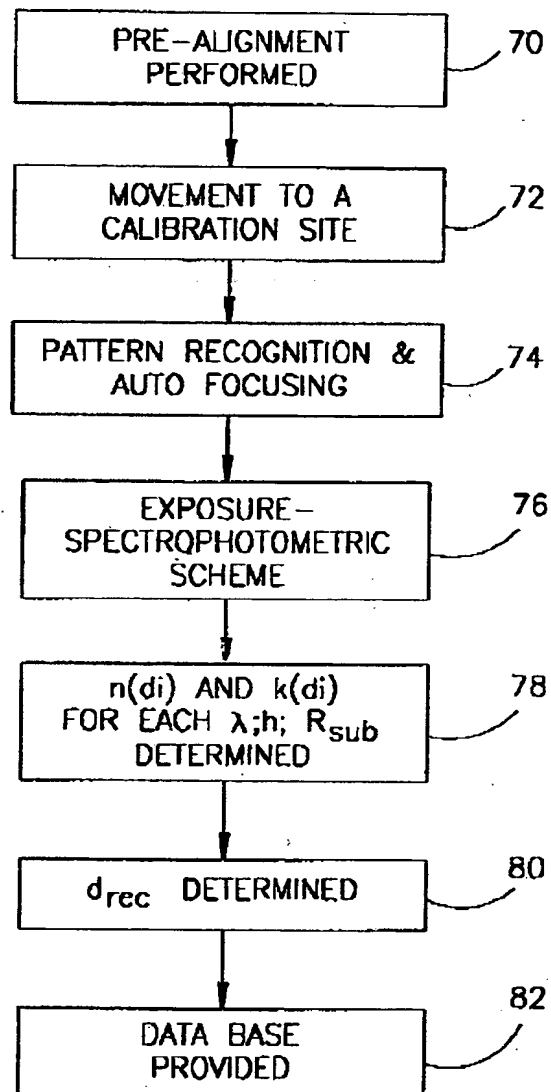


FIG.5

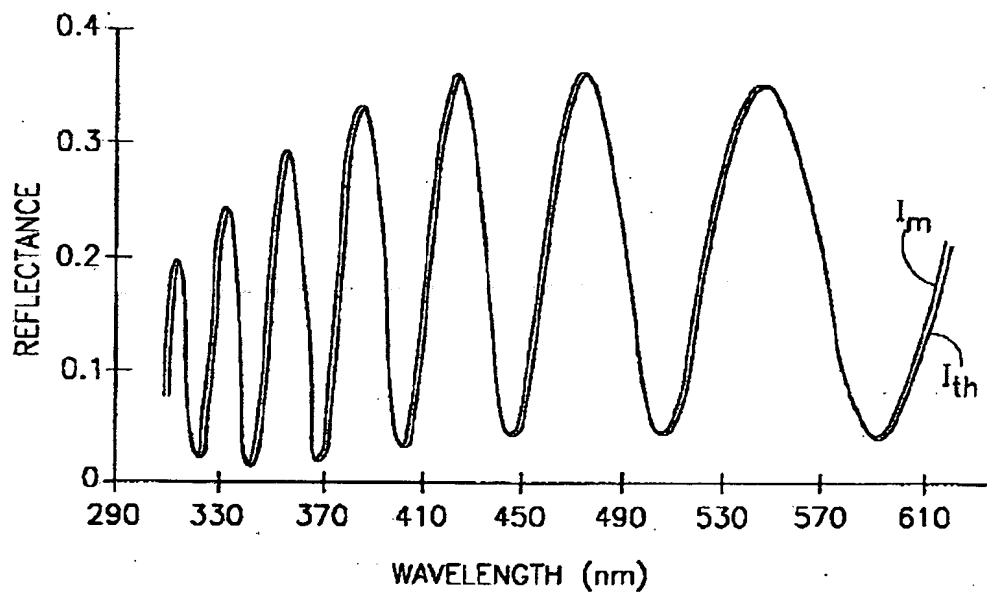


FIG.6

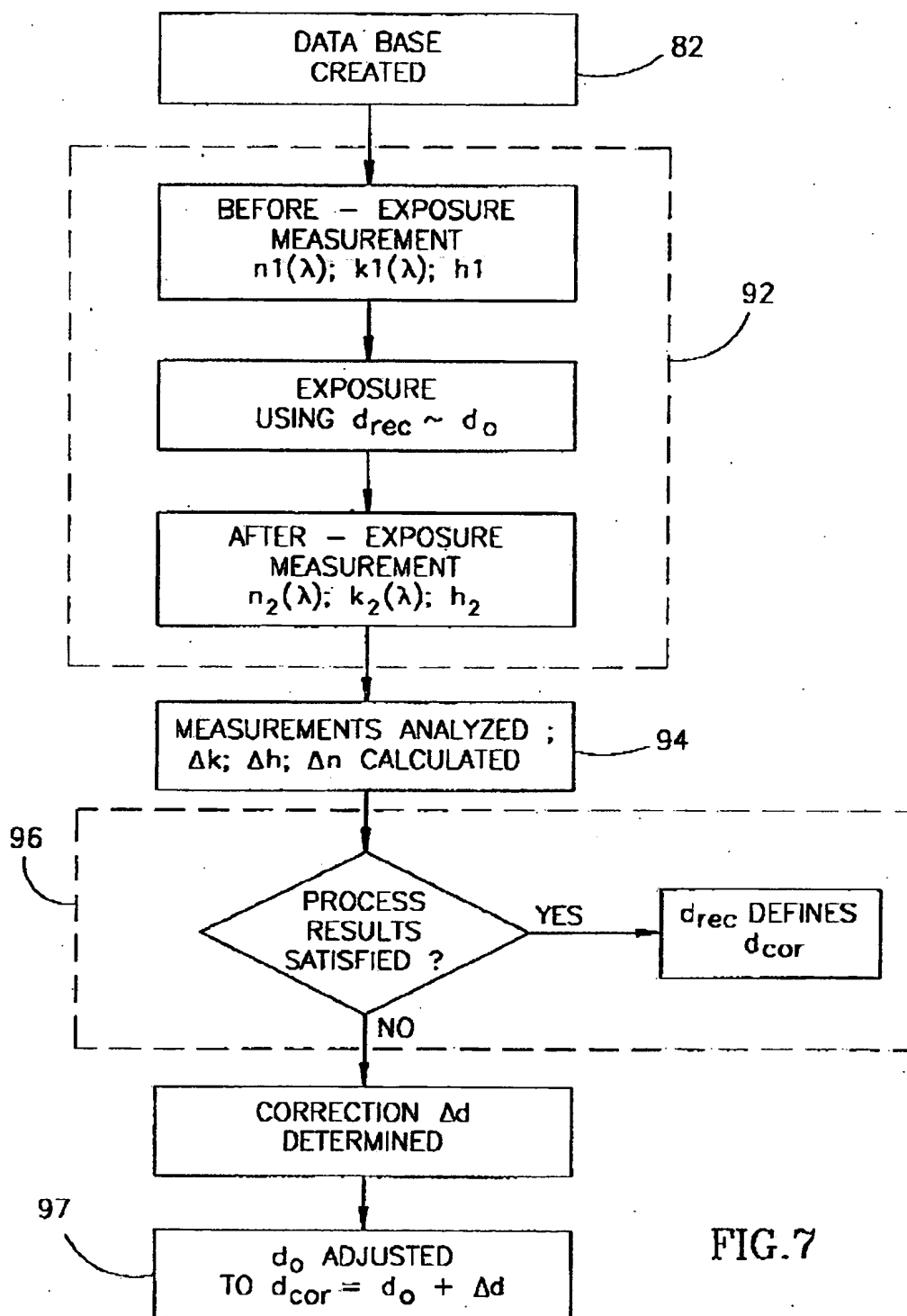
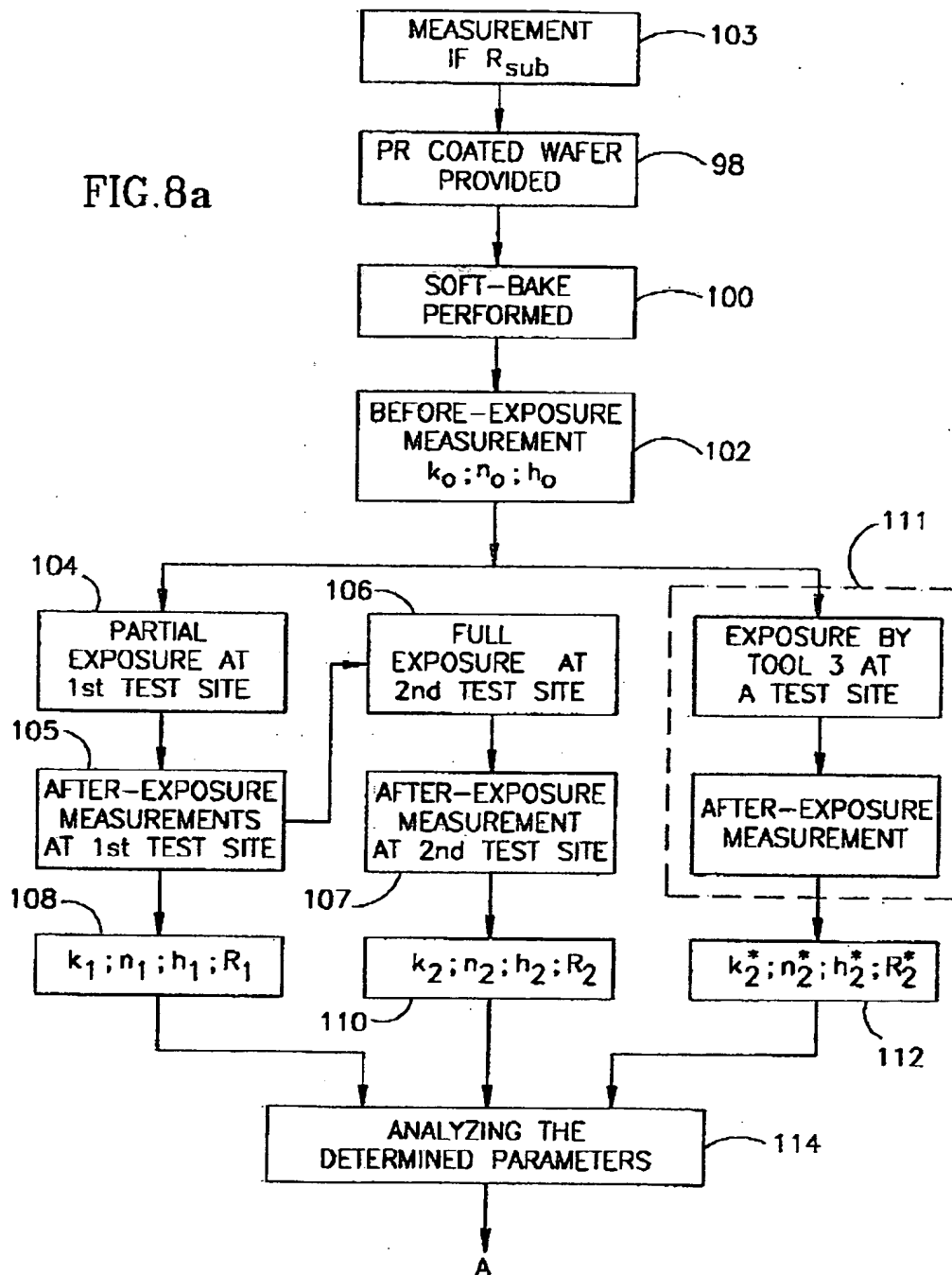


FIG.7

FIG. 8a



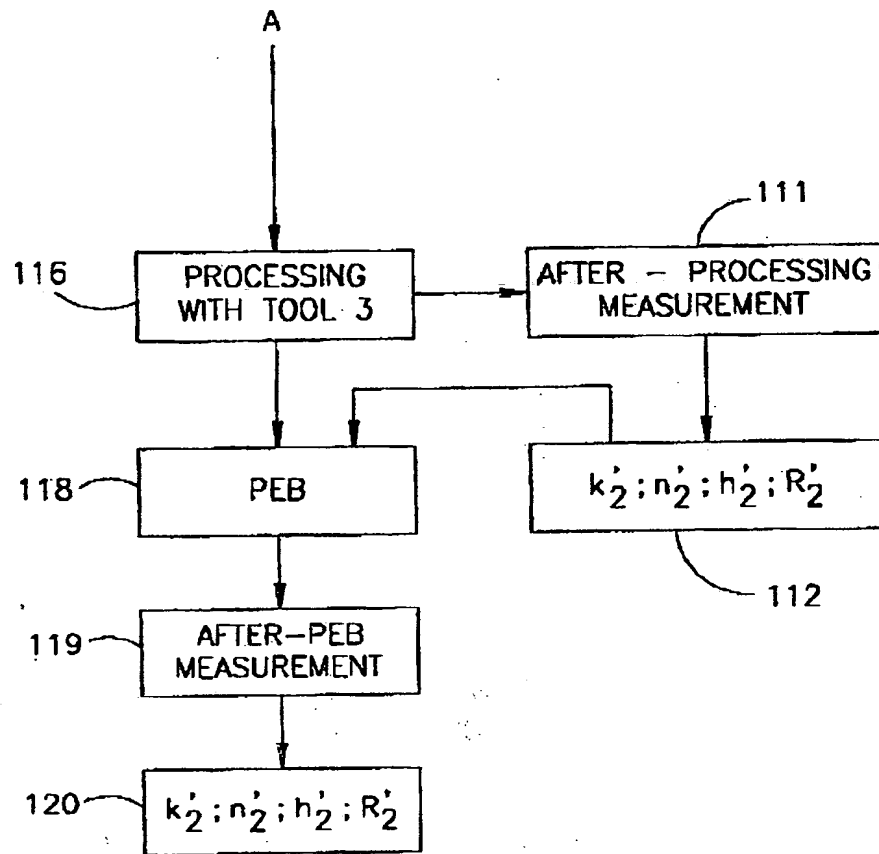


FIG.8b

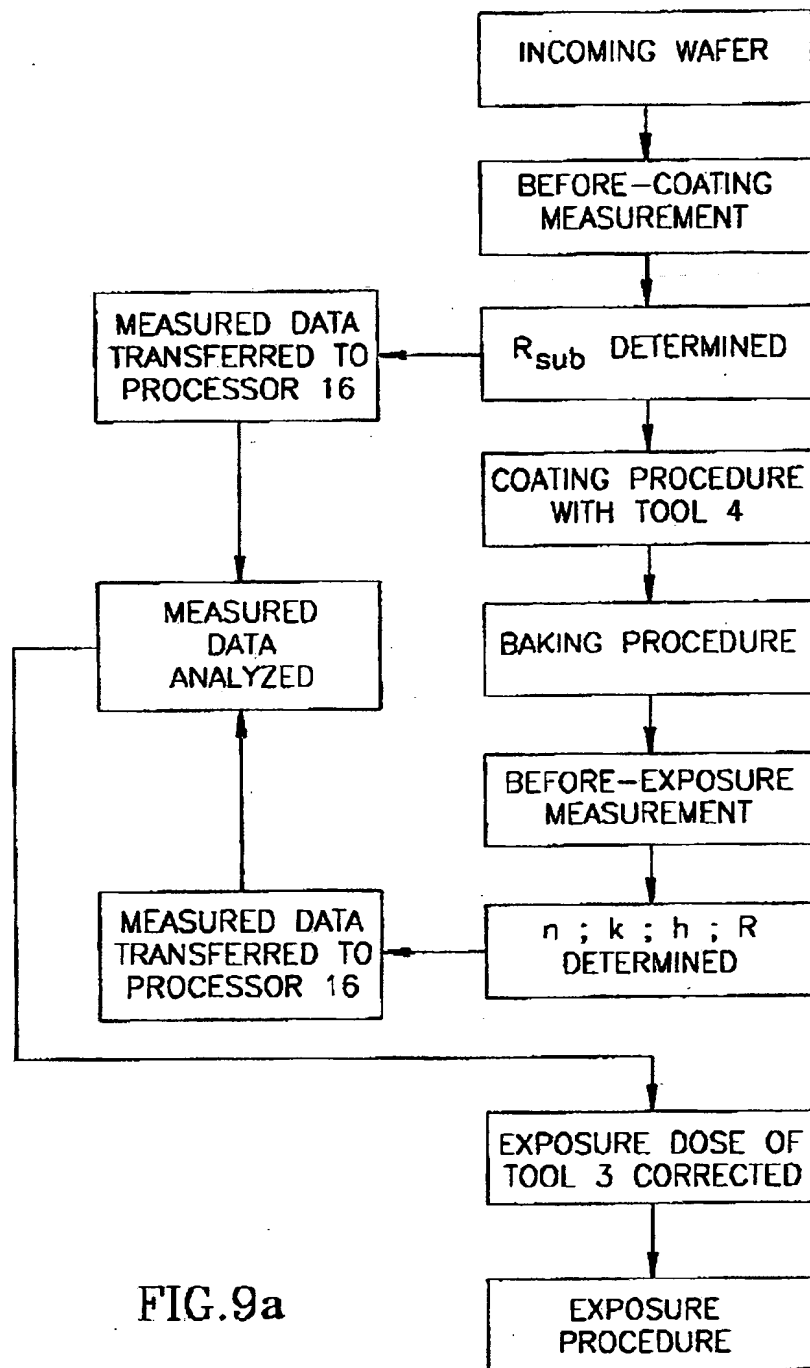


FIG.9a

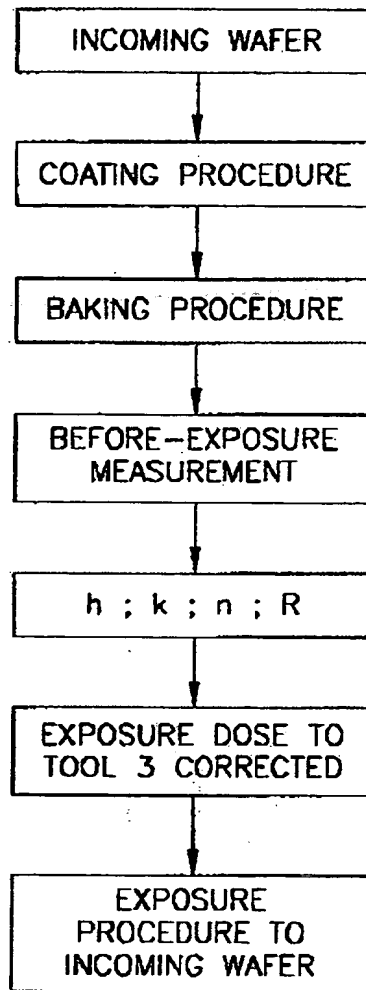


FIG.9b

1. Abstract

A method and a system are presented for automatic optical control of at least one working parameter of a processing tool (3) to be applied to a working area of a workpiece (W) for providing certain process results. The at least one working parameter of the processing tool affects at least one parameter of the workpiece under processing. The processing tool has a preset value of the at least one working parameter prior to the processing of the workpiece. A measuring tool (14) is applied to the workpiece prior to its processing by the processing tool for measuring the at least one parameter of the workpiece and generating measured data representative thereof. The measured data is analyzed with respect to the preset value of the working parameter and to the process results, so as to determine whether the preset value should be corrected for providing the certain process results when applying the processing tool to said workpiece. Upon detecting that the preset value should be corrected, calculating a correction value.

2. Representative Drawing

FIG. 2a